RS 4028

DEPARTMENT OF THE ARMY
ARMY MAP SERVICE
CORPS OF ENGINEERS

6500 BROOKS LANE
WASHINGTON, D. C.

LIBRARY

ACCESSION NO.: 19476

CALL NO.: TD345
L94
Russ.tr.

AMS FORM 6-13 BOOK LABEL
27 DEC. 51

509097

№ 208 207 226

390 стр

ENGINEER RESEARCH BRANCH
ARMY MAP SERVICE

Кабинет общей и прикладной
Геологии III
Днепропетровск. Горного Института
№ 207

Л136

HERINGEN COLLECTION
NO. J-4397

Кабинет общей и прикладной Геологии III Днепропетровск. Горного Института № 2399

Сочиненіе профессора ЛЮГЕРА.

„Водоснабженіе городовъ".

Въ русскомъ переводѣ съ дополненіями

Инженера-Технолога **Л. А. БОРОВИЧА.**

Подъ редакціей Профессора **Ф. Е. Максименко.**

26493

Кабинет общей и прикладной Геологии III Днепропетровск. Горного Института № 207

ЧАСТЬ I.

Съ 28 рисунками въ текстѣ.

HERINGEN COLLECTION NO. J-4397

КНИЖНЫЙ МАГАЗИН Д. Г. КРОНФЕЛЬДА Представительство „Гостехиздата" г. Екатеринослав Проспект К. Маркса № 61

ИЗДАНІЕ
Книжнаго магазина В. Эриксонъ.
С.-Петербургъ, Вознесенскій пр., 28.
1898.

Дозволено цензурою 21 Іюня 1898 г. С.-Петербургъ.

Типо-Литографія А. Э. Винекке, Екатерингофскій пр., № 15.

ОТДѢЛЪ I.

Происхожденіе и теченіе воды надъ и подъ поверхностью земли.

Введеніе.

Въ этомъ отдѣлѣ мы разсмотримъ круговой процессъ воды и результаты этого процесса, а также распредѣленіе воды на поверхности суши. При этомъ мы принимаемъ, что вода, въ видѣ химическаго соединенія H_2O, распространена въ пространствѣ вездѣ, какъ въ атмосферѣ, такъ и въ порахъ земли, и что три физическихъ состоянія воды находятся между собой въ непрерывной внутренней связи (см. отд. IV, гл. 2). Одно изъ этихъ невидимыхъ для насъ состояній воды представляетъ собой водяной паръ, который въ большихъ или меньшихъ количествахъ всегда находится, какъ въ надземной, такъ и въ подземной атмосферѣ, и можетъ быть обнаруженъ помощью гигрометра или психрометра. Большая часть воды на землѣ находится, однако, въ жидкомъ состояніи въ видѣ морей, а также ключей, ручьевъ, рѣкъ, потоковъ, прудовъ и озеръ, а также въ видѣ грунтовой или подпочвенной воды Начала видимыхъ водяныхъ потоковъ, при переходѣ скрытыхъ потоковъ въ открытые или поверхностные, называются ключами; болѣе или менѣе длинные видимые или открытые потоки съ относительно небольшими количествами воды называются ручьями; соединенія нѣсколькихъ ручьевъ или вообще видимыхъ водяныхъ потоковъ съ относительно значительными количествами воды называются рѣками, а иногда и потоками. Водохранилища, кажущіяся болѣе или менѣе совершенно замкнутыми, съ почти горизонтальными верхними поверхностями водъ, называются прудами, озерами и морями; строго говоря, и эти водоемы принадлежатъ къ числу текучихъ водъ, такъ какъ и въ нихъ можетъ быть констатировано движеніе воды, хотя въ весьма незначительной степени. Вода, наполняющая поры земли подъ видимой ея поверхностью, носитъ общее названіе грунтовой воды. Въ твердомъ состояніи, въ видѣ льда, вода является вѣчно въ немногихъ только мѣстахъ поверхности земли, какъ напр. на полюсахъ и на очень высокихъ горахъ, а также въ замерзшей почвѣ и въ ущельяхъ или пещерахъ. Періодически-же, въ зимнее время, жидкая вода превращается въ ледъ и во многихъ другихъ еще мѣстахъ земной поверхности.

Земля, вслѣдствіе сфероидальнаго своего вида постоянно нагрѣваемая солнцемъ въ одной только своей половинѣ, допускаетъ на обогрѣваемой солнцемъ поверхности большее образованіе теплоты, а слѣдовательно и болѣе значительное испареніе воды, нежели на не обогрѣваемой солнцемъ ея поверхности. Но такъ какъ, вслѣдствіе постояннаго движенія земли, а также ввиду ея формы и удале-

19476

нія отъ солнца, обогрѣваемыя поверхности, а вмѣстѣ съ тѣмъ и степень обогрѣванія, или лучеиспусканія солнца на нихъ, постоянно мѣняются, то одна и та-же мѣстность въ различное время дня и года будетъ подвергаться различному нагрѣванію, которое также сообщается смѣси газовъ, образующей атмосферную оболочку земли, и служитъ причиной стремительнаго движенія этихъ газовъ. Въ этомъ движеніи принимаетъ участіе скопляющійся въ атмосферѣ и подымающійся въ ней вверхъ водяной паръ, и такимъ образомъ получается извѣстный круговой токъ, при чемъ группировка различныхъ газовыхъ смѣсей обусловливается ихъ плотностями и сообщенными имъ количествами движенія.

Сгущеніе части водяныхъ паровъ, вслѣдствіе пониженія температуры или эквивалентныхъ ему механическихъ дѣйствій, вызываетъ общеизвѣстное явленіе осадковъ, называемыхъ росой, дождемъ, инеемъ, снѣгомъ, градомъ и проч.

Но такъ какъ атмосфера существуетъ не только надъ поверхностью земли, но заполняетъ также поры горныхъ породъ, щели и трещины подъ поверхностью земли, причемъ измѣненіе и движеніе этой подземной атмосферы, составляющей извѣстнымъ образомъ продолженіе внѣшней атмосферы, происходитъ по одинаковымъ общимъ законамъ, то сгущаемые въ порахъ земли водяные пары представляютъ собой во всякомъ случаѣ только весьма ничтожную часть воды, вообще проникающей въ почву отъ сгущенія водяныхъ паровъ воздуха.

Обстоятельное разсмотрѣніе круговаго движенія воды въ надземной атмосферѣ составляетъ предметъ новѣйшей метеорологіи, наиболѣе необходимыя свѣдѣнія изъ которой приведены въ этомъ отдѣлѣ въ гл. 1, 2 и 3. На описаніи спеціальныхъ условій какой-либо опредѣленной мѣстности, какъ напр. на результатахъ наблюденій, картографическомъ изображеніи отдѣльныхъ мѣстностей и т. д. мы здѣсь останавливаться не будемъ, а отсылаемъ интересующихся къ спеціальнымъ сочиненіямъ по метеорологіи и запискамъ главныхъ физическихъ обсерваторій различныхъ странъ.

Основныя положенія *новѣйшей метеорологіи* отличаются отъ положеній старой метеорологіи слѣдующимъ:

1. Синоптическимъ способомъ опредѣленія, т. е. картографическимъ изображеніемъ состоянія погоды въ извѣстный моментъ.

2. Распознаваніемъ измѣненій въ атмосферѣ по распредѣленію воздушнаго давленія, какъ единственному руководящему элементу, т. е. распознаваніемъ связи этого распредѣленія воздушнаго давленія съ вѣтромъ и погодой.

3. Примѣненіемъ положеній механической теоріи теплоты къ метеорологическимъ вопросамъ и связаннымъ съ ней измѣненіемъ ученія объ испареніи и образованіи осадковъ, а также и объ обмѣнѣ теплоты.

Главнымъ пріобрѣтеніемъ синоптическаго метода является сопоставленіе и совмѣстная обработка сѣтей метеорологическихъ наблюденій, которыя получаютъ все болѣе и болѣе обширное распространеніе путемъ международныхъ метеорологическихъ конгрессовъ и конференцій, и которыя служатъ для вывода основныхъ положеній общаго значенія.

Болѣе подробно здѣсь будетъ разсмотрѣнъ вопросъ о теченіи воды по и подъ поверхностью земли.

Въ гл. 4 приводятся относящіяся сюда теоретическія соображенія.

Въ гл. 5 дается общій обзоръ теченія инфильтрацій въ почву.

Гл. 6 посвящена опредѣленію остающейся въ почвѣ въ жидкомъ видѣ и служащей для питанія ключей инфильтраціи, а гл. 7 разсматриваетъ движеніе воды подъ поверхностью почвы и происхожденіе ключей. Само собой разумѣется, что мы здѣсь будемъ подразумѣвать только тѣ ключи, происхожденіе кото-

рыхъ можетъ быть непосредственно прослѣжено; никакихъ теорій образованія теплыхъ ключей и проч. здѣсь не приводится.

Въ гл. 8 разсматриваются соотношенія, существующія между температурой почвы и температурой ключей.

Въ гл. 9 разсматриваются непрерывныя химическія и динамическія измѣненія горныхъ породъ, производимыя водой, и ихъ вліяніе на свойства воды.

Гл. 10 разсматриваетъ, въ какихъ именно формаціяхъ и при какихъ условіяхъ появляются болѣе мощные и менѣе мощные ключи, а также и тѣ способы, помощью которыхъ можно отыскать и открыть выходящіе на дневную поверхность ключи въ незнакомой мѣстности.

Затѣмъ гл. 11 разсматриваетъ тѣ признаки и результаты опытовъ, которые даютъ болѣе или менѣе точныя заключенія о мощности и качествахъ скрыто текущихъ водъ (грунтовыхъ водъ) въ различныхъ геологическихъ формаціяхъ.

Наконецъ гл. 12 разсматриваетъ вліянія непрерывныхъ измѣненій въ природѣ, измѣняющихся растительныхъ культуръ на поверхности почвы, геотектоническихъ преобразованій, химическихъ и механическихъ измѣненій почвы и проч. на обиліе и постоянство ключей.

Хотя вообще нельзя не признать, что наши познанія о теченіи воды подъ почвой отчасти еще несовершенны, и что постоянно происходящее измѣненіе состоянія воды надъ и подъ землей главнымъ образомъ затрудняетъ изученіе этого предмета, но тѣмъ не менѣе въ послѣднее время достигнуты весьма значительные успѣхи въ познаніи истины.

Этому успѣху больше всего содѣйствовали тѣ ученые, которые, замѣнили различныя философскія разсужденія наблюденіемъ и опытомъ. Къ такимъ ученымъ принадлежатъ: Дарси, Петтенкоферъ, Эбермайеръ, Вольни и друг. съ другой стороны успѣхъ въ этихъ знаніяхъ долженъ быть приписанъ примѣненію механической теоріи теплоты и теоріи движенія грунтовыхъ водъ.

Хотя основныя положенія о движеніи воды подъ почвой несомнѣнно въ значительной степени могутъ со временемъ пополняться путемъ опытовъ въ большихъ размѣрахъ, и хотя даже изслѣдованія относительно условій измѣненія состоянія воды подъ почвой, подобныя изслѣдованіямъ Thomson'a, van der Mensbrugghe и пр., подготовляютъ измѣненіе современныхъ взглядовъ на этотъ предметъ, тѣмъ не менѣе нѣтъ никакихъ основаній, въ ожиданіи въ будущемъ болѣе точныхъ и лучшихъ знаній, не примѣнять въ практикѣ весь собранный въ настоящее время матеріалъ, представляющій извѣстное приближеніе къ истинѣ.

Опытный инженеръ, дѣйствуя съ необходимой осторожностью, можетъ во многихъ случаяхъ при розысканіи источниковъ воды успѣшно справиться съ дѣломъ быстро и безъ сложныхъ теоретическихъ усилій. Кромѣ того подобныя лица часто примѣняютъ теоретическія ссылки для изложенія и обоснованія своихъ мнѣній по данному вопросу. Для менѣе-же опытныхъ въ этомъ дѣлѣ спеціалистовъ разсчетъ и измѣреніе, т. е. результаты обоихъ этихъ пріемовъ составляютъ единственный путь, обезпечивающій имъ самостоятельность мнѣнія и защищающій ихъ отъ возраженій, такъ какъ можно утвердительно сказать, что результаты вычисленій—гдѣ они только возможны—всегда имѣютъ преимущество и берутъ перевѣсъ надъ оцѣнкой даже опытнаго практика.

---

1. Распредѣленіе теплоты на земной поверхности.

Наша земля заимствуетъ свою теплоту частью изъ глубокихъ своихъ нѣдръ, гдѣ, на основаніи весьма вѣскихъ доказательствъ, температура гораздо выше, нежели на поверхности, частью отъ небеснаго пространства, изъ котораго теплота доставляется землѣ отъ звѣздъ путемъ лучеиспусканія, и наконецъ отъ солнца. Оба первыхъ источника теплоты, по всѣмъ наблюденіямъ, сообщаютъ нашей планетѣ постоянное нагрѣваніе. Солнце-же, наоборотъ, помощью лучеиспусканія нагрѣваетъ землю постоянно съ одной только стороны, и напряженіе этого лучеиспусканія въ какой-нибудь точкѣ P поверхности земли измѣняется вслѣдствіе постояннаго движенія земли, а также и вслѣдствіе ея вида и ея разстоянія отъ солнца.

Проведенная черезъ центръ солнца плоскость, въ которой находится орбита земли, имѣетъ опредѣленное постоянное положеніе въ міровомъ пространствѣ и называется плоскостью земной орбиты или эклиптикой. Ось земли, вокругъ которой она обращается одинъ разъ въ сутки, въ среднемъ наклонена къ этой плоскости подъ угломъ $66^0 32'$. Въ то время какъ центръ земли описываетъ путь, близкій къ эллипсу, ось ея, независимо отъ нутацій, которыхъ здѣсь можно не разсматривать, остается параллельной начальному ея положенію.

Если представимъ себѣ лучи солнца параллельными (что приблизительно, хотя не совсѣмъ правильно), то ось земли относительно солнца одинъ разъ приметъ такое положеніе, при которомъ лучи касаются обоихъ полюсовъ; это положеніе бываетъ ежегодно 22 Марта и 22 Сентября (н. ст.), и въ эти числа продолжительность дня и ночи одинаковы между собой (равноденствіе). Между обоими этими положеніями находятся два другихъ положенія, при которыхъ одинъ разъ южный, а другой разъ сѣверный полюсъ не освѣщается. Въ обоихъ случаяхъ ночь въ теченіи цѣлыхъ сутокъ охватываетъ ту часть земли, которая ограничена параллельнымъ кругомъ $66^0 32$; соотвѣтственные параллельные круги называются сѣвернымъ и южнымъ полярными кругами. Эти положенія солнца бываютъ 21 Іюня и 21 Декабря, и соотвѣтственно называются лѣтнимъ и зимнимъ поворотами солнца.

Количество теплоты, заимствуемой обогрѣваемою солнечными лучами поверхностью впродолженіе небольшого промежутка времени, обратно пропорціонально квадрату разстоянія этой поверхности отъ солнца; полное количество теплоты, сообщенной лучами солнца данной поверхности впродолженіе 24 часовъ, независимо отъ другихъ вліяній, тоже измѣняется вмѣстѣ съ непрерывнымъ измѣненіемъ разстоянія ея отъ солнца. Если черезъ m обозначимъ число единицъ теплоты, сообщаемой лучами солнца данной поверхности впродолженіе 24 часовъ, когда солнечные лучи направлены перпендикулярно къ поверхности, и разстояніе поверхности отъ центра солнца составляетъ a метр., *) то данная поверхность при разстояніи ея въ r метр.

*) По наблюденіемъ Langley постоянный коэффиціентъ солнца, т. е. то количество теплоты, какое можетъ быть сообщено лучами солнца на границѣ нашей атмосферы тѣлу, на которое лучи падаютъ перпендикулярно его поверхности, составляетъ 3 ед. теплоты въ минуту на каждый квадр. сантиметръ поверхности или $3.60.24.10000 = 43200000$ калорій на 1 кв. метр. въ 24 часа.

заимствуетъ количество теплоты m', опредѣляемое изъ пропорціи $\frac{m'}{m} = \frac{a^2}{r^2}$ и составляющее:

$$m' = \frac{m\,a^2}{r^2}.$$

Если же солнечные лучи образуютъ уголъ ε съ нормалью къ обогрѣваемой поверхности, то количество сообщенной теплоты будетъ меньше, а именно:

$$m'' = \frac{m\,a^2}{r^2} \cdot \mathrm{Cos}\ \varepsilon.$$

Для опредѣленія количества теплоты M, сообщенной единицѣ поверхности въ единицу времени, необходимо сперва установить мѣру времени. Если примемъ, что продолжительность дня въ 24 часа соотвѣтствуетъ дугѣ длиной 2π и черезъ dQ обозначимъ количество теплоты, сообщаемой единицѣ поверхности въ элементъ времени dt, то получаемъ:

$$1)\ M = \frac{dQ}{dt} = \frac{m''}{2\pi} = \frac{m\,a^2 \cdot \cos.\,\varepsilon}{2\pi r^2},$$

откуда

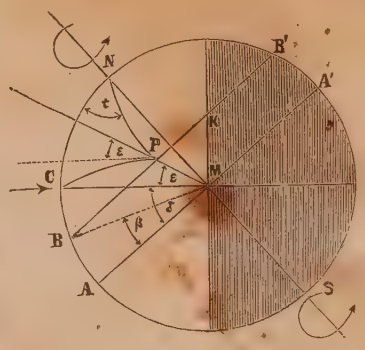
$$2)\ Q = \frac{m\,a^2}{2\pi} \int_{t_0}^{t_1} \frac{\cos\varepsilon \cdot dt}{r^2},$$

гдѣ Q обозначаетъ количество теплоты, сообщенной единицѣ поверхности въ теченіи промежутка времени отъ $t = t_0$ до $t = t_1$.

Для возможности интегрированія этого уравненія величины r и ε должны быть выражены въ видѣ функцій отъ t. Значеніе r^2 для каждаго даннаго момента можетъ быть получено по закону Кеплера, по которому времена оборота планеты относятся между собой, какъ поверхности, описываемыя радіусомъ векторомъ. Если $d\lambda$ обозначаетъ элементъ дуги земной орбиты, a—большую, а b—меньшую ось эллипса, описываемаго землей, T—продолжительность тропическаго года (=365,25 среднихъ солнечныхъ сутокъ), то отношеніе будетъ:

$$\frac{dt}{T} = \frac{r^2 \cdot d\lambda}{2\pi a b}, \qquad r^2 = \frac{2\pi a b}{T} \cdot \frac{dt}{d\lambda}.$$

Опредѣленіе значенія ε для даннаго момента производится слѣдующимъ образомъ: если окружность $ANA'S$ (фиг. I.) обозначаетъ тотъ меридіанъ, въ плоскости котораго находится центръ солнца, AA'- экваторъ, N—сѣверный, S—южный полюсъ земли, P—какую нибудь точку земной поверхности, MC — линію, соединяющую центръ земли съ центромъ солнца, то лучи солнца принимаются параллельными этой линіи, и уголъ, образуемый ими съ плоскостью экватора или на чертежѣ съ линіей AA', будетъ изображать собой склоненіе солнца δ.



Фиг. 1.

Уголъ BMA называется географической широтой точки P и обозначенъ на чертежѣ буквой β.

Линія PM изображаетъ собой радіусъ земли въ точкѣ P и нормальна къ шаровой поверхности. Воображаемый черезъ точку P солнечный лучъ образуетъ съ этою нормалью MP уголъ ε.

Разсматривая сферическій треугольникъ CNP и принимая радіусъ шара = 1, получаемъ

$$\smile CN = \smile AN - \smile AC = \frac{\pi}{2} - \delta;\ \smile CP = \varepsilon,$$

$$\smile NP = \smile NB = \smile AN - \smile AB = \frac{\pi}{2} - \beta,$$

гдѣ углы δ, ε и β выражаются въ мѣрахъ дугъ. Уголъ CNP, лежащій въ сферическомъ треугольникѣ, служитъ для опредѣленія разстоянія точки P отъ пересѣченія параллельнаго круга BB' съ плоскостью меридіана; по приведенному выше объясненію мѣры единицы времени этотъ уголъ $= t$ и называется часовымъ угломъ.

По даннымъ Pernter постоянная солнца нѣсколько больше и составляетъ почти 3,1 калоріи на 1 кв. сантим. минуту (Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien. Bd. 97 за 1888 г. Стр. 1560)

Въ каждомъ сферическомъ треугольникѣ косинусъ какой нибудь его стороны равенъ произведенію косинусовъ обѣихъ другихъ его сторонъ, сложенному съ произведеніемъ синусовъ этихъ сторонъ, помноженнымъ на косинусъ заключеннаго между ними угла; въ данномъ случаѣ будетъ:

$$\text{Cos } \varepsilon = \text{Cos } CP = \text{Cos } CN \,.\, \text{Cos } NP + \text{Sin } NC \,.\, \text{Sin } NP \,.\, \text{Cos } t,$$

или

$$\text{Cos } \varepsilon = \text{Sin } \delta \,.\, \text{Sin } \beta + \text{Cos } \delta \,.\, \text{Cos } \beta \,.\, \text{Cos } t.$$

Подставивъ это значеніе въ ур. 2), получимъ

$$3)\ Q = \frac{m\,a^2}{2\,\pi} \int_{t_0}^{t_1} \frac{\text{Sin } \delta \,.\, \text{Sin } \beta + \text{Cos } \delta \,.\, \text{Cos } \beta \,.\, \text{Cos } t}{r^2} \,.\, dt.$$

Полное интегрированіе этого уравненія только тогда будетъ возможно, если величина r^2 будетъ замѣнена вышенайденнымъ его значеніемъ; но тогда получаются весьма сложныя двойныя періодическія функціи, рѣшеніе которыхъ для нашей цѣли оказывается совершенно излишнимъ.

Весьма простой и довольно близкій къ истинѣ результатъ получается, если мы для продолжительности одного дня будемъ считать величины δ и r постоянными. Тогда изъ ур. 3) получаемъ:

$$Q = \frac{m\,a^2}{2\,\pi\,r^2} \left[\text{Sin } \delta \,.\, \text{Sin } \beta \,.\, (t_1 - t_0) + \text{Cos } \delta \,.\, \text{Cos } \beta \,(\text{Sin } t_1 - \text{Sin } t_0) \right].$$

Часовой уголъ t_1 имѣетъ одинаковую величину какъ съ правой, такъ и съ лѣвой стороны меридіана, такъ какъ солнечные лучи параллельны плоскости меридіана; если примемъ $t_0 = -t_1$, гдѣ t_1 тогда обозначаетъ половину дневной дуги, то для цѣлаго дня получимъ:

$$4)\ Q = \frac{m\,a^2}{\pi\,r^2} \left[\text{Sin } \delta \,.\, \text{Sin } \beta \,.\, t_1 + \text{Cos } \delta \,.\, \text{Cos } \beta \,.\, \text{Sin } t_1 \right].$$

Для географическихъ широтъ, въ которыхъ солнце не заходитъ, $t_1 = \pi$ и $\text{Sin } t_1 = 0$, такъ что

$$4\,a)\ Q_1 = \frac{m\,a^2}{r^2} \,.\, \text{Sin } \delta \,.\, \text{Sin } \beta.$$

а для обогрѣваемаго лучами полюса, для котораго $t_1 = \pi$, $\beta = \frac{\pi}{2}$, $\text{Sin } \beta = 1$, получаемъ:

$$4\,b)\ Q_1 = \frac{m\,a_2}{r^2} \,.\, \text{Sin } \delta.$$

Для экватора $t_1 = \frac{\pi}{2}$, $\beta = 0$, и получается

$$4\,c)\ Q_1 = \frac{m\,a^2}{\pi\,r^2} \,.\, \text{Cos } \delta.$$

Значеніе t_1, т. е. длина половины дневной дуги, BK, опредѣляется изъ уравненія для ε, если принять во вниманіе, что когда солнечные лучи касаются параллельнаго круга или направлены перпендикулярно къ нормали въ точкѣ P, то Cos ε. есть нуль; въ этомъ случаѣ

$$\text{Cos } \varepsilon = 0 = \text{Sin } \delta \,.\, \text{Sin } \beta + \text{Cos } \delta \,.\, \text{Cos } \beta \,.\, \text{Cos } t_1,$$

$$\text{Cos } t_1 = -\text{tg } \delta \,.\, \text{tg. } \beta, \qquad t_1 = \text{arc. (cos} = -\text{tg } \delta \,.\, \text{tg } \beta).$$

Помощью этихъ уравненій можно для каждаго дня вычислить количество теплоты Q_1, сообщаемой единицѣ поверхности лучами солнца втеченіи 24 часовъ, такъ какъ величины δ и r даны для каждаго дня года.

Складывая полученныя величины для произвольнаго періода времени, можно получить полное количество теплоты, сообщенной за этотъ періодъ времени, при чемъ получаются слѣдующіе результаты:

Втеченіи дня согрѣвающее дѣйствіе солнечныхъ лучей постепенно увеличивается отъ восхода солнца до полудня, достигая своего максимума при положеніи солнца въ зенитѣ, и затѣмъ при постепенно возростающей косинѣ падающихъ лучей опять постепенно уменьшается до захода солнца. Дѣйствительно, по ур. 1) обогрѣваніе единицы поверхности въ единицу времени пропорціонально Cos ε, который тѣмъ больше, чѣмъ ε меньше. Уголъ ε имѣетъ наименьшее свое значеніе для параллельнаго круга BB', когда нагрѣваемая точка P совпадаетъ съ B, т. е. когда она лежитъ въ плоскости меридіана; для этой плоскости, или соотвѣтственно для точки пересѣченія B, солнце находится въ зенитѣ.

Въ предѣлахъ пояса, въ которомъ солнце не заходитъ, полюсъ втеченіи дня получаетъ наибольшее лучистое обогрѣваніе, которое достигаетъ своего абсолютнаго maximum'а при наибольшей величинѣ δ, какъ это видно изъ уравненія 4b), т. е. въ день поворота солнца при $\delta = 23^{0}28'$.

По уравненію 4c) ежедневное лучистое обогрѣваніе на экваторѣ достигаетъ своего maximum'а для $\delta = 0$, т. е. въ дни равноденствія, а minimum его бываетъ при наибольшемъ положительномъ или отрицательномъ значеніи δ, т. е. во время поворота солнца при $\delta = 23^{0}28'$.

Въ предѣлахъ пояса между кругами поворотовъ солнца количество теплоты Q_1, сообщенной втеченіи 24 часовъ, опредѣляется по ур. 4). Для опредѣленія наибольшихъ величинъ необходимо уравненіе 4) дифференцировать и результатъ приравнять нулю, откуда слѣдуетъ

$$\frac{d\,Q_1}{d\beta} = 0 = \operatorname{Sin}\delta \,.\, \operatorname{Cos}\beta \,.\, t_1 + \operatorname{Sin}\delta \,.\, \operatorname{Sin}\beta \,.\, \frac{d\,t_1}{d\,\beta} - \operatorname{Cos}\delta \,.\, \operatorname{Sin}\beta \,.\, \operatorname{Sin} t_1 + \operatorname{Cos}\delta \,.\, \operatorname{Cos}\beta \,.\, \operatorname{Cos} t_1 \frac{d\,t_1}{d\,\beta} \,.$$

Но такъ какъ $t_1 = \operatorname{arc}(\cos = -\operatorname{tg}\delta \operatorname{tg}\beta)$, то получается условіе

$$\operatorname{arc}(\cos = -\operatorname{tg}\delta \,.\, \operatorname{tg}\beta)\ \operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}\beta \,.\, \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2\delta \,.\, \operatorname{tg}^2\beta}.$$

Для $\delta = 0$ опять находимъ абсолютный maximum на экваторѣ во время равноденствія Еще два наибольшія значенія получаются для соотвѣтственныхъ величинъ $\delta = \pm 23^{0}28'$ и $\beta = \pm 43^{0}34'$.

Если обозначимъ количество теплоты, лучеиспускаемой солнцемъ на какую-нибудь точку земной поверхности втеченіи цѣлаго года, черезъ $\Sigma \,.\, Q_1$, при чемъ эта сумма получается отъ сложенія количествъ теплоты Q_1, сообщаемой ежедневно, то можемъ написать:

$$5)\ \Sigma\, Q_1 = 365{,}25 \,.\, \varphi \,.\, m,$$

гдѣ φ представляетъ собой среднюю величину, которая по вычисленіямъ Lambert'a, Meech'a и Wiener'a для разныхъ широтъ приведена въ слѣдующей таблицѣ:

$\beta =$	$\varphi =$	$\beta =$	$\varphi =$	$\beta =$	$\varphi =$
0^{0}	0,305	40^{0}	0,241	80^{0}	0,131
10^{0}	0,301	50^{0}	0,209	90^{0}	0,127
20^{0}	0,289	60^{0}	0,174		
30^{0}	0,268	70^{0}	0,145		

Указанныя выше вычисленія приведены здѣсь только для общихъ соображеній, при чемъ не принято во вниманіе поглощеніе лучей солнца атмосферой. Angot произвелъ болѣе точныя вычисленія, принявъ во вниманіе поглощеніе солнечныхъ лучей атмосферой, а Zenker при своихъ вычисленіяхъ принялъ во вниманіе не только поглощеніе, но также и отраженіе солнечныхъ лучей въ атмосферѣ.

Атмосферный воздухъ, въ зависимости отъ своего состава или соотвѣтственно отъ количества содержащихся въ немъ другихъ газообразныхъ тѣлъ, образуетъ собой большее или меньшее сопротивленіе нагрѣванію земли, т. е. поверхности суши и морей, лучами солнца. Чистый прозрачный воздухъ поглощаетъ меньше тепловыхъ лучей, нежели туманный воздухъ, который поглощаетъ значительное количество ихъ, допуская такимъ образомъ относительно гораздо меньшее нагрѣваніе находящейся подъ нимъ земной поверхности. Тѣмъ не менѣе даже при совершенно ясномъ небѣ значительная часть всѣхъ лучей пропадаетъ. Кромѣ того неровности суши и свойства встрѣчаемыхъ лучами поверхностей вызываютъ иное распредѣленіе теплоты, нежели получаемое путемъ вычисленій. Изъ приведенныхъ вычисленій легко видѣть, что въ общемъ распредѣленное на весь годъ нагрѣваніе уменьшается съ увеличеніемъ широты мѣста, но оно не будетъ точно соотвѣтствовать вычисленнымъ относительнымъ количествамъ.

Всѣмъ извѣстно, что солнечные лучи, дѣйствующіе на одинаково расположенныя поверхности, но съ различными физическими свойствами, производятъ при совершенно одинаковой интенсивности далеко не одинаковое нагрѣваніе этихъ поверхностей. Вообще суша нагрѣвается гораздо скорѣе, нежели море; въ первомъ случаѣ солнечные лучи энергичнѣе дѣйствуютъ на почвы скалистыя, песчаныя, минеральныя и т. под., нежели на почву, покрытую травой или вообще растительностью. Кромѣ того вмѣстѣ съ нагрѣваніемъ лучи солнца производятъ еще работу по испаренію воды, какъ со свободныхъ водяныхъ поверхностей, такъ и съ суши. Такимъ образомъ теплота, лучеиспускаемая солнцемъ на землю, ни въ какомъ случаѣ цѣликомъ не поглощается обогрѣваемыми поверхностями, а частью расходуется на многія другія работы. Листья растеній поглощаютъ солнечные лучи, которые производятъ разложеніе поглощенной первыми изъ воздуха углекислоты; льды полярныхъ странъ и глетчеровъ поглощаютъ солнечные лучи, при чемъ переходятъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и т. д.

Значительная часть теплоты, сообщенной солнечными лучами земной поверхности, отражается послѣднею обратно въ міровое пространство, и если принять во вниманіе, что температура міроваго пространства весьма низка будучи равной по общепринятому заключенію около — 140°С, то дѣлается понятнымъ, что это отраженіе теплоты отъ земли должно быть весьма значительно. Это отраженіе, точно такъ-же, какъ и нагрѣваніе, встрѣчаетъ большее или меньшее сопротивленіе въ зависимости отъ свойствъ атмосферы: чѣмъ больше водяныхъ паровъ содержится въ воздухѣ, тѣмъ медленнѣе происходитъ это отраженіе, которое при совершенно чистомъ воздухѣ происходитъ весьма быстро. Облачное покрытіе надъ землей можетъ почти совершенно препятствовать этому отраженію, при чемъ большая часть отраженной теплоты опять возвращается землѣ. Полированныя поверхности, легко отражающія солнечные лучи, весьма мало лучеиспускаютъ теплоту; наоборотъ же всѣ тѣла съ шероховатыми поверхностями и съ темной окраской вообще очень быстро нагрѣваются и въ отношеніи отраженія теплоты имѣютъ свойства, противоположныя свойствамъ полированныхъ поверхностей. Вода морей и океановъ принадлежитъ къ тѣмъ тѣламъ, которыя медленно отдаютъ поглощенную ими теплоту; еще въ меньшей степени теплота отражается атмосфернымъ воздухомъ

Если отраженіе или лучеиспусканіе отъ земной поверхности больше количества теплоты, сообщенной землѣ различными источниками, то это обнаруживается пониженіемъ температуры земли; послѣднее происходитъ сильнѣе всего втеченіи ночи, когда обогрѣваніе земли лучами солнца прерывается. Въ ясныя звѣздныя ночи, даже среди лѣта и при небольшой даже геогр. широтѣ мѣстности, температура быстро понижается, между тѣмъ при облачномъ небѣ зной прошедшаго дня продолжается даже и по наступленіи сумерокъ. Нагрѣваніе земной поверхности втеченіи дня и охлажденіе ея втеченіи ночи, обусловливающія собой нагрѣваніе и соотвѣтственное охлажденіе воздуха, которымъ мы дышемъ, измѣряются maximum—и minimum—термометромъ. Подобными измѣреніями можно констатировать вообще, что температура втеченіи всей ночи до восхода солнца постоянно понижается, и это объясняется тѣмъ, что втеченіи всего этого времени происходитъ непрерывное отраженіе теплоты или лучеиспусканіе землей. Наинизшая температура земли слѣдовательно будетъ при восходѣ солнца, и по мѣрѣ его восхожденія температура опять начинаетъ

подыматься. Когда уголъ, образуемый лучами солнца съ нормалью къ земной поверхности, имѣетъ наименьшую свою величину, то солнце находится въ зенитѣ, и съ этого момента оно опять начинаетъ опускаться или заходить; по истеченіи нѣкотораго времени наступаетъ такой моментъ, когда количество теплоты, сообщаемой солнечными лучами, бываетъ одинаково съ потерей теплоты черезъ отраженіе, и въ этотъ моментъ, температура достигаетъ наивысшей точки (что впрочемъ наступаетъ не въ полдень, а нѣсколько позже), съ которой начинается опусканіе термометра, вызываемое преобладаніемъ отраженія Это ежедневное измѣненіе температуры воздуха, обусловливаемое: нагрѣвающимъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, происходящимъ при этомъ нагрѣваніемъ ближайшихъ къ земной поверхности слоевъ воздуха и отраженіемъ или лучеиспусканіемъ отъ земной поверхности, гораздо значительнѣе при ясномъ безоблачномъ небѣ, нежели при облачномъ, такъ какъ облачное покрытіе, какъ было упомянуто выше, препятствуетъ не только проникаію солнечныхъ лучей, но и лучеиспусканію отъ земной поверхности.

Опытъ показываетъ намъ, что путемъ измѣренія можно опредѣлить ежедневныя періодическія измѣненія температуры воздуха, и вполнѣ подтверждаетъ вышесказанное нами объ этихъ измѣненіяхъ. Если будемъ наносить на ось абсциссъ часы отъ полуночи до полуночи, а измѣренныя каждый часъ температуры будемъ наносить какъ ординаты, то получимъ весьма ясную картину происходящаго повышенія и пониженія температуры. Если раздѣлимъ площадь, заключающуюся между проходящей черезъ конечныя точки ординатъ кривой и осью абсциссъ, на общую длину всѣхъ абсциссъ, (слѣд. при ежечасныхъ наблюденіяхъ сумму ординатъ раздѣлимъ на 24), то получаемъ такъ называемую среднюю дневную (или суточную) температуру.

Такъ какъ правильное ежечасное наблюденіе температуры днемъ и ночью трудно производить, то на метеорологическомъ конгрессѣ въ Вѣнѣ было предложено для опредѣленія средней суточной температуры производить наблюденія въ слѣдующіе часы:

	въ 6 час. утра (6^{ha}).	2 часа дня (2^{hp}),	10 час. вечера (10^{hp}).
или	7 » »	2 » »	10 » »
	7 » »	1 » »	9 » » *)
	7 » »	2 » »	9 » »

Среднее изъ этихъ трехъ наблюденій даетъ среднюю суточную температуру. Можно также опредѣлить среднюю суточную температуру по формулѣ

$$W = \frac{1}{4}(7^{ha} + 2^{hp} + 2 \,.\, 9^{hp}).$$

Если взять среднюю изъ среднихъ суточныхъ температуръ за всѣ дни одного мѣсяца, то получается средняя температура за мѣсяцъ; точно такимъ-же путемъ опредѣляются годичныя періодическія измѣненія температуры воздуха.

Въ метеорологическомъ отношеніи годъ раздѣляется на четыре времени, и на сѣверномъ полушаріи м-цы: Декабрь, Январь и Февраль считаются зимой, Мартъ, Апрѣль и Май—весной, Іюнь, Іюль, Августъ—лѣтомъ, а Сентябрь, Октябрь, Ноябрь—осенью. На южномъ полушаріи мѣсяцы отъ Декабря до Февраля считаются лѣтомъ, отъ Марта до Мая—осенью, отъ Іюня до Августа—зимой и отъ Сентября до Ноября—весной.

Сопоставляя между собой годичныя періодическія измѣненія температуры данной мѣстности, мы получаемъ тотъ-же результатъ, какъ отъ сопоставленія

*) На всѣхъ метеорологическихъ станціяхъ Главной физической обсерваторіи въ Россіи наблюденія производятся въ эти часы, т. е. въ 7 ч. у., 1 ч. д. и 9 ч. в.

ежедневныхъ суточныхъ температуръ; въ обоихъ этихъ случаяхъ результаты являются послѣдствіями обогрѣванія земли лучами солнца. Въ холодномъ и умѣренномъ поясѣ вслѣдствіе увеличенія дня, начиная съ первой половины зимы, происходитъ постепенное увеличеніе обогрѣванія земли солнцемъ, и по наступленіи момента, въ который обогрѣваніе солнцемъ и отраженіе уравновѣшиваются между собой (равноденствія), происходитъ постепенное повышеніе температуры воздуха. Во время лѣтняго поворота солнца длина дня бываетъ наибольшей, и начиная съ этого момента день постепенно опять становится короче. Хотя при этомъ обогрѣваніе земли лучами солнца дѣлается меньше, но тѣмъ не менѣе оно еще замѣтно превышаетъ потерю теплоты отъ лучеиспусканія, вслѣдствіе чего температура воздуха еще нѣкоторое время продолжаетъ повышаться. Постепенно затѣмъ приближается день, когда опять наступаетъ равновѣсіе между обогрѣваніемъ земли солнцемъ и отраженіемъ теплоты землей, и съ этого дня температура опять начинаетъ падать. Во время зимняго поворота солнца перевѣсъ отраженія надъ нагрѣваніемъ достигаетъ наибольшей своей величины; не смотря на это, температура воздуха послѣ этого дня продолжаетъ падать до тѣхъ поръ, пока нагрѣваніе лучами солнца уравновѣсится съ отраженіемъ и т. д. Чѣмъ ближе къ полюсу находится данная мѣстность, тѣмъ значительнѣе разница во времени обогрѣванія, а слѣдовательно и въ степени нагрѣванія; такъ, наблюденія показали, что температура воздуха на сѣверномъ полюсѣ въ Іюлѣ мѣсяцѣ бываетъ—0,7°С, а въ Январѣ—32,5°С, что соотвѣтствуетъ годичному колебанію въ 32°С, между тѣмъ какъ подъ тропикомъ Рака въ Январѣ температура бываетъ около 19°С, а въ Іюлѣ около 27°С, такъ что годичное колебаніе составляетъ только около 8°С (въ отдѣльныхъ мѣстахъ конечно бываютъ большія или меньшія отступленія отъ этихъ среднихъ цифръ). На самомъ экваторѣ годичное колебаніе температуры составляетъ только 1,5°С.

Вообще говоря, первой исходной точкой для опредѣленія среднихъ значеній температуры воздуха всѣхъ мѣстъ одинаковой географической широты за цѣлый годъ служитъ продолжительность обогрѣванія этой мѣстности лучами солнца. Въ отдѣльныхъ-же случаяхъ годичныя колебанія температуры, равно какъ и суточныя колебанія, находятся въ зависимости отъ положенія данной мѣстности, и по вышеизложеннымъ причинамъ эти колебанія на берегу моря бываютъ меньше, нежели внутри континента.

Остается намъ теперь сказать нѣсколько словъ объ уменьшеніи температуры воздуха съ увеличеніемъ высоты мѣста. Что температура съ увеличеніемъ высоты надъ поверхностью земли должна уменьшаться, ясно вытекаетъ изъ того состоянія холода, въ которомъ находится наружная, обращенная въ міровое пространство, часть атмосферы, и которое измѣряется температурой въ—140°С. Подыманіе нагрѣтаго у поверхности земли воздуха, происходящее отъ уменьшенія удѣльнаго вѣса его вслѣдствіе нагрѣванія, въ данномъ случаѣ имѣетъ весьма небольшое вліяніе. Вслѣдствіе уменьшенія давленія атмосферы по мѣрѣ удаленія отъ поверхности земли, подымающіеся вверхъ слои воздуха должны измѣнить свое давленіе, а это измѣненіе состоянія воздуха происходитъ насчетъ заключающейся въ немъ собственной теплоты; температура воздуха такимъ образомъ уменьшается, такъ что въ верхнихъ слояхъ температура не можетъ замѣтно повышаться отъ подымающагося туда теплаго воздуха. Законъ, по которому температура воздуха постепенно уменьшается съ увеличеніемъ высоты, не смотря на множество произведенныхъ изслѣдованій, до сихъ поръ еще не найденъ. Наблю-

денія показали, что уменьшенію температуры на 1°С соотвѣтствуетъ увеличеніе высоты на 100 метровъ (см. ниже). Уменьшеніе температуры различно, въ зависимости отъ времени года и климата, а также отъ орографическихъ свойствъ мѣста наблюденія; главнымъ образомъ оно зависитъ отъ степени влажности воздуха.

Опредѣливши для какого нибудь мѣста величину пониженія температуры съ увеличеніемъ высоты, легко можно вычислить температуру для произвольной точки земной поверхности въ томъ случаѣ, если-бы эта точка была расположена на уровнѣ моря. Если H –обозначаетъ превышеніе данной точки земной поверхности надъ уровнемъ моря, T—температуру на этой высотѣ, m—число метровъ, на которое какая нибудь точка должна быть расположена ниже данной точки, чтобы ея температура была на 1° С. выше температуры въ данной точкѣ, то приведенная къ уровню моря температура мѣста будетъ:

$$t = T + \frac{H}{m}.$$

Если среднія годовыя температуры различныхъ точекъ земной поверхности привести къ уровню моря и, нанесши всѣ эти температуры на карту, соединить между собой всѣ точки съ одинаковыми средними температурами помощью кривыхъ, то эти кривыя носятъ названіе *изотермъ*, или кривыхъ равной температуры. Подобная изотермическая карта даетъ намъ самое лучшее и наглядное представленіе о распредѣленіи теплоты на земной поверхности *).

Если затѣмъ по изотермической картѣ опредѣлить тѣ температуры, которыя соотвѣтствуютъ средней изъ всѣхъ наблюденій въ мѣстностяхъ, лежащихъ подъ однимъ и тѣмъ-же градусомъ географической широты, то для каждаго параллельнаго круга земли получается нѣкоторая средняя температура, отъ которой дѣйствительныя полученныя при наблюденіяхъ температуры уклоняются въ большей или меньшей степени. Это уклоненіе или разность между средней температурой какой-либо мѣстности и средней температурой проходящаго черезъ нее параллельнаго круга носитъ названіе *„термической аномаліи“*. Эти термическія аномаліи показываютъ, насколько данная мѣстность теплѣе или холоднѣе сравнительно съ тѣмъ, какъ оно должно было-бы быть по своему географическому положенію. Аномалія считается положительной, если температура данной мѣстности выше вычисленной для даннаго параллельнаго круга, и отрицательной, если она ниже.

Впрочемъ годовыя изотермы не даютъ намъ полной характеристики климата данной мѣстности; изъ двухъ мѣстностей съ одинаковыми годовыми изотермами часто одна имѣетъ мягкую зиму и прохладное лѣто, а другая—холодную зиму и знойное лѣто. Для нагляднаго изображенія этихъ контрастовъ иногда наносятъ линіи одинаковыхъ лѣтнихъ температуръ (изотеры) и соотвѣтственно линіи одинаковыхъ зимнихъ температуръ (изохимены). Въ послѣднее время по предложенію Гана для каждой данной мѣстности даются разности между средними температурами и крайними изо дня въ день, изъ мѣсяца въ мѣсяцъ, изъ года въ годъ, т. е. суточныя, мѣсячныя и годичныя колебанія температуръ; такъ напр. разность между высшей и низшей температурой втеченіи сутокъ называютъ полнымъ суточнымъ колебаніемъ температуры и т. д. Эти разности служатъ преимущественно для характеристики климата данной мѣстности.

На температуру воздуха какого-либо мѣста земной поверхности между прочимъ вліяютъ также и атмосферныя теченія. Когда какое нибудь мѣсто земной поверхности нагрѣвается, то это нагрѣваніе сообщается также находящемуся надъ этимъ мѣстомъ воздуху, который вслѣдствіе этого нагрѣванія дѣлается легче и подымается вверхъ; большей частью подымающіяся вверхъ массы воздуха содержатъ въ себѣ также и водяные пары. По достиженіи нѣкоторой высо-

*) Для Россіи изотермическая карта за годъ и каждый мѣсяцъ: Вильдъ. „Температура воздуха въ Россійской Имперіи“ (1881).

ты послѣдніе сгущаются въ облака, при чемъ, вслѣдствіе сгущенія, освобождается теплота, подъ дѣйствіемъ которой воздухъ дальше расширяется и продолжаетъ подыматься выше. Подымающееся теченіе воздуха увлекаетъ съ собой или всасываетъ нижній воздухъ, такъ что съ этимъ подыманіемъ связано уменьшеніе давленія воздуха внизу и увеличеніе давленія вверху, вслѣдствіе скопленія тамъ подымающагося воздуха. Въ пространство съ уменьшеннымъ давленіемъ устремляется воздухъ изъ сосѣднихъ областей, имѣющихъ болѣе высокое давленіе; такимъ образомъ надъ каждымъ мѣстомъ съ наименьшимъ давленіемъ на поверхности земли въ верхнихъ слояхъ атмосферы расположено мѣсто съ наиболѣе высокимъ давленіемъ, и обратно, вслѣдствіе чего образуется такъ называемое атмосферное круговое теченіе или атмосферные круговороты. Если принять во вниманіе, что въ этихъ теченіяхъ принимаетъ участіе и находящійся въ атмосферѣ водяной паръ, имѣющій свойство въ значительной степени поглощать солнечные лучи, то становится понятнымъ, что континентъ отъ экватора къ полюсу нагрѣвается сильнѣе нормальнаго, такъ какъ вѣтры въ этихъ мѣстностяхъ переносятъ отъ экватора къ полюсамъ теплоту, заключающуюся въ водяныхъ парахъ.

Отъ черезмѣрно сильнаго нагрѣванія земли на экваторѣ происходитъ постоянное нарушеніе равновѣсія расположенной тамъ атмосферы, такъ какъ нагрѣтыя у поверхности земли частицы воздуха въ значительныхъ количествахъ подымаются вверхъ, образуя въ верхнихъ слояхъ атмосферы скопленіе теплаго воздуха, между тѣмъ, какъ внизу образуется пространство съ уменьшеннымъ атмосфернымъ давленіемъ, или барометрическій минимумъ, по направленію къ которому образуется движеніе сосѣдняго воздуха, находящагося подъ болѣе высокимъ давленіемъ. Поднявшійся вверхъ теплый воздухъ вслѣдствіе сильнаго своего давленія направляется къ полюсамъ, а отъ полюсовъ образуется токъ холоднаго воздуха, стремящагося занять разрѣженное пространство нижней части атмосферы у экватора. Поэтому получается круговоротъ съ двумя расположенными другъ надъ другомъ теченіями, изъ коихъ верхнее называется экваторіальнымъ теченіемъ (юго-западнымъ пассатомъ), а нижнее называется полярнымъ теченіемъ (сѣверо-восточнымъ пассатомъ). Экваторіальное теченіе на всемъ своемъ протяженіи безпрерывно спускается сверху внизъ и надъ Средиземнымъ моремъ достигаетъ той глубины, при которой онъ можетъ обогрѣвать Европу; въ этой полосѣ оба теченія движутся рядомъ другъ съ другомъ въ видѣ постоянно мѣняющихся потоковъ, взаимно вытѣсняя и замѣняя другъ друга.

Помимо этихъ главныхъ теченій, господствующихъ вслѣдствіе одинаковой причины какъ на сѣверномъ, такъ и на южномъ полушаріи нашей земли, существуютъ еще мѣстныя нарушенія равновѣсія атмосферы, происходящія отъ неодинаковаго нагрѣванія суши и моря и вызывающія особыя теченія вѣтровъ отъ моря къ сушѣ и обратно. Эти теченія обыкновенно имѣютъ направленіе отъ моря къ сушѣ втеченіи лѣта, когда происходитъ сильное нагрѣваніе поверхности суши, и обратное направленіе—зимой.

Теченія третьей категоріи, а именно береговые вѣтры и вѣтры, дующіе въ долинахъ, происходятъ отъ одинаковыхъ причинъ; ночью они дуютъ по направленію отъ суши къ морю, соотв. къ озерамъ; днемъ же, когда свѣтитъ солнце, и расположенный надъ сушей воздухъ находится подъ меньшимъ давленіемъ, эти вѣтры дуютъ отъ моря къ сушѣ. На самомъ континентѣ втеченіи ночи болѣе холодный воздухъ высокихъ горъ опускается въ долины, между тѣмъ какъ днемъ, вслѣдствіе нагрѣванія горъ и происходящаго при этомъ разрѣженія воздуха, спустившійся воздухъ опять поднимается вверхъ.

Такимъ образомъ воздушныя теченія представляютъ собой весьма важный факторъ, вліяющій на распредѣленіе теплоты по земной поверхности, и такъ какъ ихъ дѣйствіе въ сильной степени зависитъ отъ положенія и свойства поверхности, т. е. суши и морей, при чемъ послѣднія неравномѣрно распредѣлены по земной поверхности, то легко понять уклоненія изотермъ отъ тѣхъ количествъ лучеиспускаемой теплоты, которыя обусловливаются исключительно только степенью обогрѣванія лучами солнца.

Не менѣе важное значеніе для тепловаго состоянія различныхъ частей земной поверхности имѣютъ также морскія теченія, которыя происходятъ отчасти отъ измѣненія удѣльнаго вѣса воды вслѣдствіе дѣйствія солнечныхъ лучей на морскую поверхность, а отчасти могутъ быть приписаны особымъ нарушающимъ равновѣсіе давленіямъ, образующимся въ отдѣльныхъ пунктахъ морской поверхности вслѣдствіе циркуляціи атмосфернаго воздуха.

Экваторіальное теченіе Атлантическаго океана представляетъ собой подобное морское теченіе; оно начинается съ Гвинейскаго залива и у восточнаго мыса южной Америки раздѣляется на два рукава, изъ коихъ одинъ, достигающій восточнаго берега южной Америки, направляется къ югу, а другой впадаетъ въ Мексиканскій заливъ, откуда онъ черезъ Флориду и Багамскій каналъ, протекая недалеко отъ берега сѣверной Америки, (отъ самаго берега онъ отдѣляется противоположнымъ холоднымъ теченіемъ Лабрадорнаго дрейфа), впадаетъ въ открытый океанъ, гдѣ онъ можетъ быть отличенъ по своему синему цвѣту и болѣе высокой температурѣ сравнительно съ окружающей водой, и носитъ названіе гольфстрома. Онъ направляется вдоль западнаго берега Европы, омываетъ низменные берега Британскихъ острововъ и впадаетъ въ Сѣверный Ледовитый океанъ, доходя до Шпицбергена и Новой Земли; на своемъ пути онъ нагрѣваетъ сушу, такъ что мягкій климатъ западной Европы не въ малой степени обязанъ именно гольфстрому. Рукавъ гольфстрома у западныхъ береговъ Испаніи уклоняется къ югу и достигаетъ западнаго берега Африки, гдѣ онъ опять возвращается частью въ Гвинейскій заливъ и частью въ сѣверное экваторіальное теченіе, гдѣ кругооборотъ начинается снова. Въ южно-Атлантическомъ океанѣ существуетъ подобное же теплое морское теченіе, называемое Бразильскимъ теченіемъ и направляющееся отъ восточнаго берега южной Америки къ мысу Доброй Надежды; точно такое же теченіе существуетъ въ Тихомъ океанѣ, гдѣ оно вслѣдствіе темносиняго цвѣта воды называется чернымъ теченіемъ и раздѣляется на нѣсколько отдѣльныхъ теченій или рукавовъ, а также и въ Индійскомъ океанѣ, гдѣ оно называется Мозанбикскимъ теченіемъ. Каждое изъ этихъ теплыхъ теченій имѣетъ своимъ послѣдствіемъ противоположное ему холодное теченіе; оба эти теченія, конечно, не могли бы существовать безъ вліянія обогрѣванія лучами солнца.

Въ общемъ мы видимъ, что причина перемѣннаго распредѣленія теплоты по земной поверхности кроется въ *разнообразномъ дѣйствіи* солнечныхъ лучей на атмосферу, сушу и море, и хотя вездѣ на земной поверхности подобныя явленія повторяются ежегодно, тѣмъ не менѣе въ извѣстныхъ предѣлахъ онѣ подвержены чрезвычайно разнообразнымъ измѣненіямъ. Такъ, напр., когда на сѣверномъ полушаріи бываетъ лѣто, то на южномъ бываетъ зима и обратно; съ такой-же правильностью, какъ перемѣны времени года, происходятъ большія воздушныя и морскія теченія. Между тѣмъ въ каждомъ данномъ мѣстѣ и въ опредѣленное время тепловыя условія въ извѣстныхъ предѣлахъ колеблются, а эти колебанія не имѣли-бы мѣста, если-бы поверхность земного шара состояла изъ одинаковаго вещества, безъ различія моря и суши, растительной культуры и пустынности, горъ и долинъ и т. д.

2. Происхожденіе и распредѣленіе водяныхъ паровъ въ надземной и подземной атмосферахъ.

Подъ вліяніемъ теплоты происходитъ испареніе жидкой воды.

Отъ морей, суши, животныхъ и растеній атмосферный воздухъ постоянно заимствуетъ весьма значительное, но постоянно измѣняющееся, количество водяныхъ паровъ, которые путемъ диффузіи смѣшиваются съ содержащимися въ воздухѣ газами. Испареніе воды происходитъ во всякое время и при всякой температурѣ, и та температура, при которой давленіе водяного пара равно давленію окружающей атмосферы, называется температурой кипѣнія.

Опытомъ можно доказать, что въ разрѣженномъ пространствѣ, въ которомъ давленіе воздуха составляетъ 4,6 милим. ртутнаго столба, вода начинаетъ кипѣть уже при температурѣ 0° С.; при нормальномъ атмосферномъ давленіи точка кипѣнія достигаетъ 100° С. При кипѣніи происходитъ видимое испареніе, такъ какъ водяной паръ подымается въ видѣ пузырьковъ, которые совершенно исчезаютъ въ воздухѣ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ меньше водяныхъ паровъ содержится въ немъ въ данное время. Подымающійся такимъ образомъ въ воздухъ водяной паръ составляетъ только весьма малую часть всего содержащагося въ немъ пара; гораздо большее количество пара въ атмосферѣ происходитъ отъ такъ называемаго испаренія. Послѣднее представляетъ собой переходъ воды изъ жидкаго состоянія въ газообразное, или, приписывая разницу между обоими этими состояніями единственно только разницѣ удѣльныхъ вѣсовъ, можно сказать, что испареніе представляетъ собой дальнѣйшее расширеніе воды въ атмосферное пространство до парообразнаго ея состоянія.

Для каждаго измѣненія состоянія тѣла (или для измѣненія удѣльнаго вѣса, а слѣд. въ случаѣ газовъ—для ихъ расширенія) необходима извѣстная затрата работы (см. отд. IV, гл. 4), на которую расходуется часть содержащейся въ тѣлѣ теплоты; такимъ образомъ при испареніи теплота жидкости уменьшается на величину такъ называемой теплоты испаренія, которая носитъ названіе также скрытой теплоты. Эта теплота испаренія (см. отд IV, гл. 2) опять обнаруживается при обратномъ переходѣ испаренной жидкости въ прежнее состояніе, и такимъ образомъ она можетъ поддерживать жидкость въ парообразномъ ея состояніи.

Извѣстное пространство при опредѣленной температурѣ можетъ вмѣщать въ себѣ только извѣстное наибольшее количество водяныхъ паровъ, т. е. въ этомъ пространствѣ можетъ заключаться всякое количество пара, меньшее этого maximum'а, но никогда не больше (см. отд. IV, гл. 2). Если содержаніе водяныхъ паровъ въ данномъ пространствѣ опредѣленной температуры достигло своего maximum'а (численныя значенія этихъ наибольшихъ величинъ см. отд. IV, гл. 3), то, какъ обыкновенно говорятъ, воздухъ влаженъ, т. е. насыщенъ водянымъ паромъ. Если же количество содержащагося въ данномъ воздушномъ пространствѣ

водянаго пара меньше, нежели это пространство можетъ въ себѣ содержать при данной температурѣ, то отношеніе этого меньшаго количества пара къ наиболь шему, могущему въ немъ содержаться при данной температурѣ, называется относительной влажностью воздуха и выражается въ процентахъ этого maximum'а.

Такимъ образомъ *относительная влажность выражается дробью, числитель которой показываетъ вѣсъ водянаго пара (или воды въ газообразномъ состояніи), дѣйствительно содержащагося въ 1 куб. метрѣ воздуха (абсолютную влажность), а знаменатель показываетъ то количество воды, которое можетъ заключаться въ томъ же пространствѣ при той-же температурѣ, сохраняя еще свое парообразное состояніе.*

Если сравнимъ напр., влажный или насыщенный парами воздухъ при температурѣ 20° С. съ такимъ же воздухомъ при 10° С., то въ первомъ случаѣ давленіе или упругость водянаго пара составляетъ 17,6 миллим., а во второмъ 9,2 миллим. ртутнаго столба; если бы упругость пара въ воздухѣ при температурѣ 20° С. была бы только 10 миллиметр. ртутнаго столба, то относительная влажность воздуха составляла бы только 60%, и воздухъ считался бы сухимъ, хотя въ немъ содержалось бы абсолютно большее количество влажности, нежели въ насыщенномъ, а по этому и влажномъ, воздухѣ при температурѣ его въ 10° С.

Если въ воздушное пространство съ опредѣленной температурой поступаетъ большее количество водянаго пара, нежели наибольшее могущее въ немъ содержаться при этой температурѣ, то излишнее количество пара сгущается въ жидкую воду или ледъ; то-же явленіе происходитъ и въ томъ случаѣ, когда температура пространства понижается. Если содержаніе водяныхъ паровъ въ данномъ воздушномъ пространствѣ не достигло своего maximum'а, и температура его продолжаетъ понижаться, то настуитъ тотъ моментъ, когда упругость содержащагося въ немъ пара будетъ соотвѣтствовать maximum'у (см. отд. IV, гл. 3); *) если съ этого момента температура будетъ дальше понижаться, то часть пара сгустится. Такъ какъ послѣднее явленіе бываетъ видно, при чемъ сгущенный въ воду или ледъ водяной паръ осѣдаетъ на ограничивающія данное воздушное пространство твердыя тѣла въ видѣ росы или инея, то моментъ, въ который происходитъ это явленіе, называется точкой росы или точкой появленія росы. Если точка росы (подъ которой для краткости подразумѣваютъ соотвѣтствующую ей температуру) намъ извѣстна, то по ней легко опредѣлить степень влажности воздуха.

Допустимъ, что въ воздухѣ съ температурой 20° С. появленіе росы происходитъ тогда, когда находящійся въ немъ сосудъ охлажденъ до 12° С.; наибольшая упругость пара, соотвѣтствующая послѣдней температурѣ, будетъ 10,6 милим. ртутнаго столба. Но такъ какъ температурѣ 20° С. соотвѣтсвуетъ наибольшая упругость пара въ 17,6 милим. ртутнаго столба, то выраженная въ процентахъ относительная влажность будетъ:

$$Z = 100 \cdot \frac{10{,}6}{17{,}6} = 60\%.$$

Существуютъ различные способы опредѣленія температуры, при которой происходитъ появленіе росы; но обыкновенно для этой цѣли примѣняютъ гигрометръ Даніэля, состоящій изъ широкой безвоздушной стеклянной трубки, изогнутой въ двухъ мѣстахъ подъ прямыми углами, и снабженной на концахъ шариками; отогнутыя подъ прямыми углами колѣна сдѣланы не одинаковой длины: одно длиннѣе, а другое короче. Шарикъ на концѣ длиннаго колѣна наполняется эфиромъ и снабженъ термометромъ, показывающимъ температуру эфира, а

---

*) По даннымъ Томсона наибольшія упругости водяныхъ паровъ при данныхъ температурахъ бываютъ меньше для вогнутыхъ поверхностей нежели для плоскихъ и тѣмъ меньше, чѣмъ больше кривизна поверхностей. Это подтверждается рядомъ наблюденій van der Mensbrugghe, которыя показали, что въ капиллярныхъ пустыхъ пространствахъ водяной паръ сгущается уже тогда, когда температура бываетъ выше точки появленія росы.

шарикъ другого короткаго колѣна покрытъ кускомъ кисеи. Если на эту кисею накапать эфиру, то отъ стекла заимствуется теплота, расходуемая на испареніе этого эфира; при этомъ упругость содержащихся въ этомъ стекляномъ шарѣ эфирныхъ паровъ уменьшается настолько, что содержащійся въ первомъ шарѣ эфиръ тоже начинаетъ испаряться и заимствуетъ теплоту отъ второго шарика. Наблюдая по внутреннему термометру температуру, при которой послѣдній шарикъ покрывается росой, можно опредѣлить соотвѣтствующую упругость пара въ воздухѣ, а вмѣстѣ съ ней и относительную влажность воздуха.

Наиболѣе точный способъ опредѣленія содержанія водяныхъ паровъ въ воздухѣ состоитъ въ непосредственномъ взвѣшиваніи пара. Для этого обыкновенно употребляютъ стеклянную трубку, наполненную хлористымъ кальціемъ; сперва опредѣляютъ вѣсъ трубки и затѣмъ черезъ нее пропускаютъ опредѣленное количество воздуха, въ которомъ требуется опредѣлить содержаніе водяныхъ паровъ. При этомъ хлористый кальцій поглощаетъ почти все количество содержащагося въ воздухѣ водяного пара, и непосредственнымъ опредѣленіемъ увеличенія вѣса трубки можно измѣрить количество содержащагося въ воздухѣ пара. Но этотъ способъ требуетъ довольно сложныхъ приборовъ.

Гораздо проще можно опредѣлить относительную влажность воздуха помощью двухъ термометровъ, соединенныхъ въ одинъ приборъ, называемый психрометромъ.

Одинъ изъ термометровъ употребляется исключительно для измѣренія температуры воздуха и называется сухимъ термометромъ; шарикъ же другого термометра обернутъ кускомъ кисеи, временами или еще лучше безпрерывно смачиваемой водой помощью соединеннаго съ ней фитиля, опущеннаго въ сосудъ съ водой. При наблюденіи второй термометръ всегда показываетъ болѣе низкую температуру, нежели та, которая показывается сухимъ термометромъ, такъ какъ безпрерывное испареніе воды заимствуетъ теплоту отъ шарика термометра. Разность показаній обоихъ термометровъ бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ суше окружающій воздухъ, и находится въ извѣстномъ правильномъ соотношеніи къ содержанію влажности въ воздухѣ *), Пусть обозначаютъ:

k—эмпирическій коэффиціентъ ($k = 0{,}00075$ до $0{,}0008$);

t—температура по мокрому термометру въ градусахъ Цельсія;

T—температура по сухому термометру;

C—упругость насыщеннаго водяного пара, соотвѣтствующая температурѣ t;

P—упругость насыщеннаго водяного пара, соотвѣтствующая температурѣ T;

H—давленіе атмосфернаго воздуха въ мѣстѣ наблюденія (высота барометра);

σ—упругость содержащагося въ воздухѣ водяного пара;

тогда, выражая всѣ упругости въ миллиметрахъ ртутнаго столба, мы имѣемъ соотношеніе:

$$7)\quad \sigma = p - kH\,(T - t) = p - 0{,}6\,(T - t),$$

такъ какъ значеніе величены kH во всѣхъ случаяхъ, когда давленіе атмосферы не много разнится отъ нормальной (760 милим.), можетъ быть принято $= 0{,}6$. Этой упругости σ соотвѣтствуетъ температура τ, означающая точку росы и опредѣляемая (см. отд. IV, гл. 3) по формулѣ:

$$8)\quad \tau = 200 \,.\, \sigma_1^{0{,}1352} - 100,$$

гдѣ $760 \,.\, \sigma_1 = \sigma$.

Отношеніе между σ и P или такъ называемыя относительная влажность, согласно вышеизложенному, выражается въ процентахъ по формулѣ:

$$9)\quad \varepsilon = \frac{\sigma}{P} \,.\, 100 = 100\,\frac{p - 0{,}6\,(T - t)}{P}.$$

На прилагаемой здѣсь таблицѣ показаны значенія σ, τ и ε для различныхъ температуръ T и t; промежуточныя значенія, не приведенныя въ таблицѣ, могутъ быть вычислены путемъ интерполированія.

---

*) Оба термометра должны быть поставлены такъ, чтобы воздухъ могъ свободно циркулировать около нихъ, и наблюденіе производится лишь тогда, когда мокрый термометръ подъ вліяніемъ испаренія перестаетъ дальше опускаться. Шарикъ термометра и обернутая вокругъ него кисейка должны постоянно содержаться въ чистотѣ, такъ какъ при осѣданіи на немъ слоя пыли, илу, грязи термометръ теряетъ свою чувствительность. Во время сильныхъ морозовъ для производства безошибочныхъ наблюденій на шарикѣ допускаютъ образованіе только весьма тонкаго слоя льда.

t	$T-t=0^0$			$T-t=2^0$			$T-t=4^0$			$T-t=6^0$			$T-t=8^0$			$T-t=10^0$			$T-t=12^0$		
	τ	σ	ε	τ	σ	ε	τ	σ	ε	τ	σ	ε	τ	σ	ε	τ	σ	ε	τ	σ	ε
0	0°	4,6	100	— 4°	3,4	65	— 9°	2,2	37	—19°	1,0	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	+ 2°	5,2	100	— 2°	4,0	67	— 6°	2,8	41	—13°	1,6	20	—27°	0,4	4	—	—	—	—	—	—
4	+ 4°	6,0	100	+ 1°	4,8	69	— 3°	3,6	45	— 8°	2,4	26	—16°	1,2	11	—	—	—	—	—	—
6	+ 6°	6,9	100	+ 3°	5,7	71	0°	4,5	49	— 4°	3,3	32	—10°	2,1	17	—19°	0,9	6	—	—	—
8	+ 8°	8,0	100	+ 6°	6,8	73	+ 3°	5,6	53	— 1°	4,4	37	— 5°	3,2	23	—10°	2,0	13	—21°	0,8	4
10	+10°	9,2	100	+ 8°	8,0	75	+ 6°	6,8	57	+ 3°	5,6	41	— 1°	4,4	28	— 4°	3,2	18	—10°	2,0	10
12	+12°	10,6	100	+10°	9,4	77	+ 8°	8,2	60	+ 6°	7,0	44	+ 3°	5,8	32	0°	4,6	23	— 4°	3,4	15
14	+14°	12,1	100	+12°	10,9	79	+11°	9,7	62	+ 9°	8,5	47	+ 7°	7,3	36	+ 4°	6,1	27	+ 1°	4,9	20
16	+16°	13,8	100	+15°	12,6	80	+13°	11,4	64	+12°	10,2	50	+10°	9,0	39	+ 8°	7,8	31	+ 5°	6,6	24
18	+18°	15,6	100	+17°	14,5	81	+15°	13,3	66	+14°	12,1	53	+13°	10,9	42	+11°	9,7	34	+ 9°	8,5	27
20	+20°	17,6	100	+19°	16,4	82	+18°	15,2	68	+16°	14,0	56	+15°	12,8	45	+13°	11,6	26	+12°	10,4	29
22	+22°	19,8	100	+21°	18,5	83	+20°	17,3	70	+19°	16,1	58	+17°	14,9	47	+15°	12,7	38	+14°	11,5	31
24	+24°	22,2	100	+23°	21,0	84	+22°	19,8	71	+21°	18,6	59	+19°	17,4	49	+17°	15,2	39	—	—	—
26	+26°	24,9	100	+25°	23,7	85	+24°	22,5	72	+23°	21,3	60	+21°	19,1	50	—	—	—	—	—	—
28	+28°	28,0	100	+27°	26,8	85	+26°	25,6	73	+25°	24,4	61	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	+30°	31,4	100	+29°	30,2	86	+29°	29,0	74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

По среднему содержанію влажности въ воздухѣ климатъ признается:

весьма сухимъ при содержаніи влажности ниже 55%
умѣренно сухимъ „ „ „ 56— 70%
умѣренно влажнымъ при „ „ 71— 85%
влажнымъ при „ „ 86—100%

Испареніе, происходящее съ поверхностей морей и суши, весьма значительно; величины его измѣряются высотой слоя жидкости, испаряемой втеченіе опредѣленнаго времени, и для опредѣленія этой высоты употребляется приборъ подъ названіемъ атмометра или атмидоскопа.

Впрочемъ, это измѣреніе оказывается правильнымъ только въ очень тѣсныхъ предѣлахъ; свойство и величина прибора, интенсивность нагрѣванія его лучами солнца, скорость проходящаго надъ нимъ вѣтра и различныя другія причины въ значительной степени ограничиваютъ точность измѣренія, такъ что два рядомъ расположенныхъ атмометра могутъ давать совершенно различныя показанія.

Вообще атмометры даютъ *только исходныя точки для сужденія объ испареніи съ водяныхъ поверхностей;* для сужденія же объ испареніи съ континентовъ впередъ *невозможно найти какую либо общую правильную исходную точку*, такъ какъ здѣсь условія хотя даже и приблизительнаго опредѣленія черезвычайно сложны *).

*) Lautenburg и Riggenbach попытались выразить испареніе на поверхности рыхлой почвы путемъ формулы, по которой

Прежде всего способность почвы къ высыханію различна для различныхъ родовъ почвъ. Если почва нагрѣта втеченіи довольно продолжительнаго времени, то падающіе на нее осадки могутъ тотчасъ же опять испаряться; если она расположена въ тѣни, то испареніе будетъ происходить медленнѣе, нежели съ расположенной на солнцѣ. Если почва покрыта растительностью, какъ это почти постоянно и бываетъ, то испареніе зависитъ отъ рода растеній и состоянія ихъ развитія; растенія обратно отдаютъ атмосферѣ значительное количество воды путемъ транспираціи (движенія газовъ по волоснымъ трубочкамъ растеній), между тѣмъ какъ теплота солнца производитъ на поверхности растенія испареніе, на сколько оно допускается внутренними соковыми каналами. Корни всасываютъ въ себя изъ почвы влажность, т. е. смѣшанную съ питательными веществами воду, и доставляютъ ее растенію, которое постоянно удерживаетъ въ себѣ твердыя вещества и нѣкоторую часть воды, но большую часть ея опять выдѣляютъ путемъ транспираціи.

Само собой разумѣется, что при нормальныхъ условіяхъ испареніе вообще будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока находящійся вокругъ разсматриваемаго предмета воздухъ не насытится водяными парами. Количество водяного пара, недостающее для полнаго насыщенія воздуха при температурѣ T, называется *недостаткомъ насыщенія* и можетъ быть опредѣлено по относительной влажности.

Если вообразимъ себѣ воздухъ съ различной температурой, но съ постоянно одинаковой относительной влажностью, то содержащіяся въ немъ количества воды и соотвѣтствующіе недостатки насыщенія имѣютъ значенія, приведенныя въ слѣдующихъ таблицахъ:

	Абсолютное содержаніе воды, выраженное въ миллиметрахъ высоты слоя воды.								
Температура воздуха . . .	— 10°	— 5°	0°	+ 5°	+ 10°	+ 15°	+ 20°	+ 25°	+ 30°
Относительная влажность:									
100%	2,10	3,11	4,60	6,53	9,17	12,70	17,39	23,55	31,39
90%	1,89	2,79	4,14	5,88	8,25	11,43	12,05	21,19	28,25
70%	1,47	2,17	3,22	4,55	6,48	8,89	6,38	16,45	21,98
50%	1,05	1,55	2,30	3,26	4,58	6,35	6,69	11,77	15,69
30%	0,63	0,93	1,38	1,95	2,76	3,81	4,02	7,06	9,42
10%	0,21	0,31	0,46	0,65	0,92	1,27	1,34	2,35	3,14

$$V = H \cdot \frac{1 - p^n}{1 - p},$$

гдѣ означаютъ:

V—количество исчезнувшей воды послѣ n—дневнаго испаренія, выраженное въ миллиметрахъ высоты воды;

H—слой воды въ миллиметрахъ, испаренной въ первый день по насыщеніи почвы;

p—величина, измѣняющаяся отъ 0,70 до 0,38 и выражающая (въ процентахъ) ежедневное убываніе вѣса воды въ разсматриваемомъ тѣлѣ;

n—число дней наблюденія послѣ насыщенія выпариваемаго тѣла водой.

Дѣйствительность этой формулы связана съ такими предположеніями, которыя въ значительной степени ограничиваютъ ея примѣненіе.

Подобная же формула была предложена Weilenmann'омъ для вычисленія испаренія съ водяныхъ поверхностей.

	Недостатокъ насыщенія, выраженный въ миллиметрахъ высоты слоя воды.								
Температура воздуха	— 10°	— 5°	0°	+ 5°	+ 10°	+ 15°	+ 20°	+ 25°	+ 30°
Относительная влажность:									
100%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90%	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,27	1,34	2,30	3,13
70%	0,63	0,94	1,38	1,98	2,69	3,81	4,01	7,10	9,41
50%	1,05	1,56	2,30	3,27	4,59	6,35	6,70	11,78	15,70
30%	1,47	2,18	3,22	4,58	6,41	8,89	9,37	16,50	21,97
10%	1,89	2,80	4,14	5,88	8,25	11,43	12,05	22,20	28,25

Изъ этихъ таблицъ мы видимъ, что при одинаковомъ процентномъ содержаніи относительной влажности не только наблюдается большее содержаніе воды въ воздухѣ болѣе высокой температуры (при разности температуръ между — 10° и + 30° даже больше, чѣмъ въ 15 разъ), но что въ той же мѣрѣ измѣняется и недостатокъ насыщенія. При повышеніи температуры отъ 0° до 30°, при одинаковой относительной влажности, недостатокъ насыщенія увеличивается въ 6—7 разъ; наоборотъ, воздухъ, напр., съ температурой 25° С. и съ относительной влажностью въ 90% имѣетъ тотъ же недостатокъ насыщенія, какъ и воздухъ температуры 0° съ относительной влажностью только въ 50% (въ обоихъ случаяхъ онъ составляетъ 2,3 миллиметр.).

Такимъ образомъ недостатокъ насыщенія своимъ численнымъ значеніемъ даетъ намъ понятіе о состояніи воздуха въ каждый данный моментъ; поэтому по численнымъ значеніямъ относительной влажности при данной температурѣ всегда можно опредѣлять величину недостатка насыщенія для полученія понятія о томъ, какія количества воды воздухъ можетъ еще принять въ себя отъ испаренія.

Приведемъ здѣсь нѣкоторыя основныя соображенія объ испареніи изъ почвы.

Опыты Eser'a показали, что съ почвы испаряется тѣмъ большее количество влажности, чѣмъ больше она содержитъ въ себѣ воды, и что всѣ испытанные образцы почвъ съ довольно различнымъ содержаніемъ влажности теряли всю свою воду въ одинаковое время. Испареніе воды изъ почвы уменьшается по мѣрѣ того, какъ испаряемый слой, вслѣдствіе высыханія верхнихъ частей почвы, оказывается на большей глубинѣ въ почвѣ; оно увеличивается съ величиной поверхности соприкасанія съ воздухомъ. Точно также пропитанная водой, а также и очень влажная почва при шероховатой своей поверхности испаряетъ больше воды, нежели при гладкой поверхности; но по мѣрѣ дальнѣйшаго высыханія почвы имѣетъ мѣсто обратное явленіе. Испареніе отъ пахотной земли замѣтно уменьшается отъ образованія на ней верхней корки; точно также отъ разрыхленія поверхности почвы испареніе изъ *глубже расположенныхъ слоевъ* значительно понижается. Пока почва содержитъ въ себѣ болѣе или менѣе значительныя количества влажности, она испаряетъ тѣмъ больше воды, чѣмъ темнѣе окраска ея поверхности (а именно въ порядкѣ постепенности цвѣтовъ: чернаго, зеленаго, коричневаго, желтаго, краснаго и наконецъ бѣлаго); но когда почва путемъ испаренія потеряла уже значительное количество влажности, то имѣютъ мѣсто обратныя условія.

Относительно зависимости испаренія отъ величины частицъ почвы опыты показали, что наибольшее испареніе происходитъ при опредѣленной величинѣ зеренъ, и затѣмъ испареніе уменьшается по мѣрѣ увеличенія или уменьшенія величины зеренъ; испареніе увеличивается

съ увеличеніемъ плотности структуры почвы и дѣлается тѣмъ меньше, чѣмъ больше камней содержится въ почвѣ.

Если почва содержитъ въ себѣ на нѣкоторой глубинѣ грунтовую воду, то испареніе бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше разстояніе между горизонтомъ грунтовыхъ водъ и поверхностью почвы; разница становится тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ труднѣе вода можетъ проходить по капилярнымъ ходамъ почвы, и тѣмъ меньше, чѣмъ на большую высоту вода можетъ подыматься по почвѣ силой волосности. При влажномъ состояніи почвы приведенныя характерныя явленія обнаруживаются только сначала; но чѣмъ дальше идетъ высыханіе почвы, тѣмъ больше maximum испаренія отодвигается къ глубже лежащимъ слоямъ почвы, пока, наконецъ, будутъ испаряться тѣмъ большія количества воды, чѣмъ выше поверхность почвы находится отъ горизонта грунтовыхъ водъ.

Характерныя разницы испаряемости различныхъ родовъ почвъ обнаруживаются только при влажномъ состояніи почвы, при чемъ испареніе бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше содержаніе въ почвѣ органическихъ составныхъ частей, и тѣмъ меньше, чѣмъ больше въ ней содержаніе песку. Глина и глинистыя почвы по испаряемости занимаютъ среднее мѣсто между приведенными предѣлами. Почва, покрытая живой или свѣжей растительностью, испаряетъ наибольшія количества воды, а покрытая безжизненными предметами даетъ наименьшее испареніе; непокрытая почва занимаетъ среднее мѣсто между этими послѣдними.

Сельскохозяйственныя культуры въ молодомъ состояніи сперва расходуютъ меньше воды черезъ транспирацію, но по мѣрѣ развитія растенія этотъ расходъ дѣлается все больше и больше, достигая своего maximum'а при полномъ развитіи органовъ растенія. Затѣмъ испареніе воды опять начинаетъ уменьшаться по мѣрѣ созрѣванія растенія. Многолѣтнія, густо растущія кормовыя растенія требуютъ для себя наибольшаго количества воды, затѣмъ слѣдуютъ многолиственные вертикально растущіе долголѣтніе сорта изъ семейства легуминозныхъ (напр. полевой бобъ) и нѣкоторые масличные плоды, какъ полевая рѣпа и рапсъ, между тѣмъ какъ лежачія мотыльковыя лиственныя полезныя растенія (горохъ и кормовый горошекъ) и всѣ роды хлѣбныхъ растеній меньше изсушиваютъ почву; наконецъ, разводимыя на значительныхъ пространствахъ корнеплоды и клубнёвыя растенія (свекловица и картофель и т. под.) меньше всего расходуютъ воды изъ почвы на испареніе. Озимые виды полезныхъ растеній во время своего роста извлекаютъ изъ почвы меньше воды, нежели лѣтніе или яровые виды.

По наблюденіямъ Risler'a поименованныя ниже растенія расходовали ежедневно слѣдующія количества воды, выраженныя въ миллиметрахъ высоты дождя и отнесенныя къ усѣянной растеніями площади:

Луга и клеверныя поля . .	3,4—7 миллиметр.
Овесъ	3,0—5 „
Маисъ	3,0—4 „
Зерновые хлѣба	2,8—4 „
Виноградная лоза	0,9—1,3 „
Еловый лѣсъ	0,5—1,1 „
Дубовый лѣсъ	0,5—0,8 „

Предполагая, что зерновые хлѣба ежедневно извлекаютъ изъ почвы 2,8 миллиметр. воды, получаемъ, что за время съ 1 Апрѣля по 1 Августа изъ почвы, засѣянной зерновыми хлѣбами, извлекается $120 \times 2{,}8 = 336$ миллим., между тѣмъ какъ за этотъ періодъ времени (въ среднемъ климатѣ) выпадаетъ дождя около 200 миллиметр.; поэтому для произростанія должны быть извлечены запасы воды изъ почвы, а именно грунтовая вода. Если въ данной мѣстности послѣдней не имѣется, то растенія могутъ только питаться росой или сгущенными въ почвѣ осадками, или же наконецъ онѣ совершенно погибаютъ.

Lawes и Gilbert опредѣлили, что на каждый милліонъ килограммовъ испаряемой съ поверхности растеній воды образуется растительнаго вещества

	пшеницы	ячменя	гороха	клевера;	въ среднемъ
килограммовъ . . .	3720	3496	3464	3185	3466,

такъ что 1 килограммъ растительнаго вещества образуется изъ количества испаренной воды: пшеницы 269; ячменя 286, гороха 289; клевера 314, и въ среднемъ образованіе 1 килогр. растительнаго вещества соотвѣтствуетъ 289,5 килогр. испаренной воды.

Fittbogen при своихъ наблюденіяхъ надъ овсомъ нашелъ что образованіе 1 грамма надпочвеннаго твердаго вещества растенія соотвѣтствуетъ среднимъ числомъ 398 и 413 граммамъ испаренной воды.

Фонъ Вольфъ, у котораго мы заимствовали приведенныя свѣдѣнія, полагаетъ, что въ обширныхъ размѣрахъ (на свободныхъ поляхъ при движущемся воздухѣ) испареніе бываетъ сильнѣе, нежели въ приведенныхъ опытахъ, такъ что на одну часть растительнаго вещества приходится, можетъ быть, 500—600 частей воды и даже больше; такимъ образомъ на хлѣбномъ полѣ въ теченіе 4–5 мѣсяцевъ испаряется до 4 милліоновъ килогр. съ 1 гектара *) (что соотвѣтствуетъ высотѣ воды 400 миллиметр.), а въ фруктовомъ саду, въ лѣсу и проч. испареніе составляетъ до 5 милліоновъ килогр. на 1 гектаръ (что соотвѣтствуетъ высотѣ воды 500 миллиметр.).

Эбермайеръ на основаніи своихъ наблюденій утверждаетъ, что полевыя растенія, какъ напр. трава, клеверъ и другія многолѣтнія растенія испаряютъ большія количества воды, нежели растенія лѣсныя. Полное количество воды, выдѣляемой въ видѣ пара 115 лѣтнимъ буковымъ насажденіемъ въ теченіи своего роста, по его опредѣленію, въ среднемъ составляетъ 4 милліона килограммовъ на 1 гектаръ *) (т. е. 400 миллиметр. высоты воды).

Испареніе съ растеній на солнцѣ происходитъ несравненно энергичнѣе, чѣмъ въ тѣни, а въ темнотѣ оно весьма мало; кромѣ того оно значительно видоизмѣняется подъ вліяніемъ теплоты, содержанія влажности и движенія воздуха.

Весьма обширныя литературныя указанія и собственныя изслѣдованія по этому предмету находимъ у Вольни; выражая свой взглядъ, что количества воды, испаряемой сельскохозяйственными культурными растеніями, стоятъ весьма близко къ тѣмъ количествамъ, которыя они получаютъ отъ осадковъ, онъ вмѣстѣ съ тѣмъ замѣчаетъ, что водоиспареніе съ удобренныхъ растеній значительно больше, нежели съ неудобренныхъ. Затѣмъ количество воды, испаряемой сельскохозяйственными культурными растеніями, по мнѣнію Вольни, должно быть тѣмъ больше, чѣмъ раньше происходитъ созрѣваніе растеній, т. е. при одинаковой густотѣ насажденія испареніе будетъ увеличиваться и уменьшаться вмѣстѣ съ продолжительностью роста растенія. На основаніи своихъ изслѣдованій и литературныхъ данныхъ Вольни приходитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ.

„Разсматривая всѣ результаты опытовъ, нельзя не признать, что расходъ воды (для транспираціи и питанія), при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, въ значительной степени зависитъ отъ густоты насажденія и степени развитія органовъ растеній. Разсматривая затѣмъ и другія обстоятельства, вліяющія въ различное время и въ различной степени на испареніе воды съ растеній (какъ напр. свѣтъ, напряженность теплоты, температуру почвы, воздушныя теченія, содержаніе влажности въ воздухѣ и въ почвѣ, распредѣленіе и величины осадковъ, стадію развитія растенія и т. д.), можно придти къ тому заключенію, что отъ попытокъ къ опредѣленію абсолютной потребности воды для культурныхъ растеній нельзя ожидать удовлетворительнаго результата даже въ весьма широкихъ предѣлахъ“.

Подобно растеніямъ и животныя путемъ дыханія постоянно выдѣляютъ водяной паръ въ атмосферу; но выдѣляемое животными количество воды весьма ничтожно въ сравненіи съ тѣмъ количествомъ, которое выдѣляется растеніями.

Испареніе съ почвы въ значительной степени уменьшается уложенной на ней соломенной настилкой; точно также разостланный по почвѣ тонкій слой песку значительно уменьшаетъ выдѣленіе влажности изъ почвы въ атмосферу. Удобренія съ легко растворимыми, какъ усвояемыми, такъ и не усвояемыми, солями въ обыкновенныхъ, принятыхъ въ практикѣ, количествахъ не имѣютъ никакого вліянія на испаряемость воды съ почвы; испареніе только тогда уменьшается, когда эти матеріалы введены въ почву въ томъ количествѣ, при которомъ растеніе окончательно погибаетъ.

При различныхъ положеніяхъ почвы относительно странъ свѣта въ нашихъ широтахъ наибольшія количества воды испаряются на южной сторонѣ; затѣмъ на восточной и далѣе на западной; между тѣмъ какъ на сѣверной сторонѣ происходитъ наименьшее испареніе. Эти факты объясняются приведенной выше различной напряженностью лучеиспусканія солнца, и для другихъ широтъ они, конечно, измѣняются. Разница въ величинахъ испаряемости между обращенными къ сѣверу и къ югу поверхностями (соотвѣтственно къ востоку и западу) возрастаетъ по мѣрѣ увеличенія наклона этихъ поверхностей къ горизонту, при чемъ испаряемость на южной сторонѣ (и соотвѣтственно на восточной) увеличивается, а на сѣверной (и соотвѣтственно на западной) она уменьшается. Относящееся сюда математическое вычисленіе приведено нами выше (см. гл. 1).

*) 1 гектаръ=0,91 десятины.

При различныхъ уклонахъ поверхности почвы и южномъ положеніи разсматриваемаго склона въ нашихъ широтахъ испареніе въ теченіи большей части года будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше уголъ наклона. Во время наибольшаго сѣвернаго склоненія ходъ испаренія будетъ обратный; начиная съ этого времени, maximum испаренія постепенно къ веснѣ и соотвѣтственно къ осени опять приходитъ въ упомянутое положеніе.

На испареніе имѣетъ весьма большое вліяніе разность между теплотой воздуха и теплотой соприкасающихся съ нимъ предметовъ, или другими словами—теплота солнца; лѣтомъ, при тепломъ воздухѣ, какъ отъ суши, такъ и отъ поверхности моря, испаряется большее количество воды, нежели зимой; точно также въ жаркихъ поясахъ земли испаряется больше воды, нежели въ холодныхъ. Испареніе затѣмъ происходитъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше скорость вѣтра, соприкасающагося съ поверхностью испаренія, и чѣмъ влажность этого двигающагося воздуха находится дальше отъ состоянія насыщенія. Если, напр., воздухъ надъ какой нибудь поверхностью воды находится въ состояніи покоя, то испареніе будетъ происходить медленно потому, что непосредственно соприкасающійся съ водой слой воздуха раньше всѣхъ насыщается водянымъ паромъ, который онъ путемъ диффузіи постепенно выдѣляетъ въ высшіе слои, вслѣдствіе чего испареніе происходитъ гораздо медленнѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда проходящій надъ водяной поверхностью воздухъ быстро отводитъ все количество образующагося пара. То же самое справедливо и относительно влажной почвы.

Впрочемъ испареніе съ поверхности воды или влажной почвы будетъ происходить только до тѣхъ поръ, пока температура воды выше точки появленія росы для окружающаго воздуха; какъ только точка росы воздуха выше температуры водяной поверхности, испареніе должно прекратиться. *При всѣхъ обстоятельствахъ главную роль здѣсь играетъ недостатокъ насыщенія воздуха по отношенію къ недостатку насыщенія подвергаемаго испаренію тѣла.*

Чѣмъ меньше относительная влажность, т. е. чѣмъ больше недостатокъ насыщенія воздуха, тѣмъ энергичнѣе происходитъ испареніе. Наконецъ испареніе зависитъ также отъ давленія атмосфернаго воздуха, и съ уменьшеніемъ этого давленія, какъ указано выше, испареніе увеличивается.

Принимая во вниманіе всѣ эти обстоятельства, мы видимъ, что полученная по атмометру высота испаренія, при самыхъ выгодныхъ условіяхъ, дастъ намъ исходную точку, которая, можетъ быть, будетъ соотвѣтствовать дѣйствительному испаренію съ водяной поверхности для данной полосы земли, но никогда не можетъ соотвѣтствовать испаренію съ поверхности суши.

Общій результатъ происходящаго на земной поверхности испаренія долженъ быть равенъ суммѣ всѣхъ родовъ осадковъ, возвращаемыхъ землѣ путемъ атмосферной циркуляціи. Насколько намъ извѣстно, этотъ обмѣнъ физическаго состоянія для даннаго времени и для данной мѣстности происходитъ довольно правильно, но въ настоящее время, при нынѣшнемъ состояніи науки, трудно сказать впередъ, существуетъ-ли здѣсь законъ, обнимающій болѣе значительные періоды времени, и имѣютъ-ли здѣсь мѣсто какія либо космическія вліянія. До настоящаго времени можетъ быть принято за достовѣрное слѣдующее:

Годичное испареніе распредѣляется неодинаково по отдѣльнымъ мѣсяцамъ года; оно бываетъ наибольшее въ теченіи лѣтнихъ мѣсяцевъ и наименьшее въ зимніе мѣсяцы. Впродолженіи каждаго отдѣльнаго дня испареніе зависитъ отъ господствующаго вѣтра, температуры и проч., и при прочихъ равныхъ условіяхъ оно утромъ бываетъ наибольшее, а послѣ полудня наименьшее.

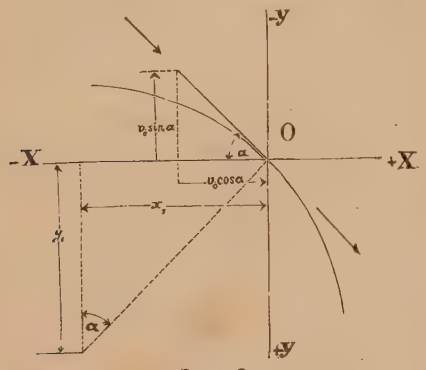
Водяной паръ, переходящій при испареніи въ атмосферный воздухъ слѣдуетъ за атмосферными теченіями или такъ называемыми вѣтрами, которые

являются разносителями влажности по надземной атмосферѣ. О происхожденіи этихъ теченій мы упомянули въ предыдущей главѣ, гдѣ мы видѣли, что они представляютъ собой результатъ различнаго нагрѣванія земной поверхности. Наши юго-западные вѣтры, относящіеся къ большому экваторіальному теченію, дуютъ по обширнымъ поверхностямъ океановъ и выходятъ изъ теплыхъ странъ, вслѣдствіе чего они имѣютъ характеръ теплыхъ и влажныхъ вѣтровъ. Вслѣдствіе заключающагося въ нихъ значительнаго количества теплоты и влажности они обнаруживаютъ и меньшее давленіе, что́ узнается по понижающемуся барометру. Полярное теченіе обнаруживаетъ обратное дѣйствіе: оно выходитъ изъ холодныхъ странъ и большей частью проходитъ надъ сушей, вслѣдствіе чего вообще такой вѣтеръ бываетъ холодный и сухой. Этимъ качествамъ соотвѣтствуетъ болѣе высокое давленіе воздуха, т. е. болѣе высокое стояніе барометра. Такимъ образомъ стояніе барометра въ каждый данный моментъ представляетъ собой послѣдствіе этого воздушнаго теченія для ближайшаго предыдущаго момента. Для нагляднаго изображенія распредѣленія давленій воздуха чертятъ для опредѣленной области такъ называемыя *изобары*, т. е. линіи, на которыхъ высота барометра въ одно и то же опредѣленное время имѣла одинаковую величину; при этомъ для точнаго опредѣленія разностей давленій воздуха, которыя исключительно зависятъ отъ превышенія данной мѣстности надъ уровнемъ моря, приводятъ всѣ показанія барометра къ уровню моря. Изобары большей частью имѣютъ одинаковыя между собой разстоянія въ 5 миллиметр., т. е. для тѣхъ высотъ барометра, которыя на 5 миллим. выше или ниже высоты соотвѣтствующей изобары, чертятся другія изобары. Наибольшую разницу высотъ барометра для единицы разстоянія называютъ барометрическимъ паденіемъ или градіентомъ; направленіе его всегда перпендикулярно изобарѣ высшаго давленія и наклонено къ изобарѣ низшаго давленія. Интенсивность градіентовъ выражается числомъ миллиметровъ, на которое понижается барометръ при перемѣщеніи на 15 географическихъ миль = 111 километровъ (1 меридіональный градусъ) по направленію барометрическаго паденія.

По направленію этого барометрическаго паденія, т. е. по направленію къ мѣсту наименьшаго воздушнаго давленія, воздухъ долженъ былъ-бы направляться отъ изобары высшаго давленія прямо къ изобарѣ низшаго давленія съ силой, пропорціональной барометрическому паденію, если-бы земля находилась въ состояніи покоя. Но такъ какъ земля при этомъ вращается вокругъ своей оси, то въ сѣверномъ полушаріи воздухъ уклоняется отъ первоначальнаго своего направленія вправо, а на южномъ полушаріи онъ уклоняется влѣво. Послѣднее явленіе легко себѣ объяснить, представляя себѣ, напр., частицу воздуха, движущуюся отъ экватора къ сѣверу. Такъ какъ во всѣхъ мѣстностяхъ, расположенныхъ къ сѣверу отъ экватора, точки земной поверхности имѣютъ меньшія разстоянія отъ оси вращенія земли, а слѣдовательно, и меньшія скорости къ востоку, то выходящая изъ экватора частица воздуха, вслѣдствіе сообщенной ей вращеніемъ земли большей скорости по направленію къ востоку, должна опережать всѣ точки, лежащія сѣвернѣе ея, и такимъ образомъ она уклоняется къ сѣверо-востоку. Это уклоненіе вправо на сѣверномъ полушаріи вслѣдствіе вращенія земли, какъ это легко видно, остается вообще одинаковымъ, каково-бы ни было начальное направленіе движенія воздушной частицы. Точно также масса воздуха, которая вслѣдстіе барометрическаго паденія имѣла начальное направленіе своего движенія къ барометрическому minimum'у, въ дѣйствительности на

сѣверномъ полушаріи устремляется по криволинейному пути, уклоняясь вправо. По той же причинѣ на южномъ полушаріи замѣчается уклоненіе влѣво.

Эти обстоятельства могутъ быть изслѣдованы аналитическимъ путемъ, при чемъ необходимо принять въ соображеніе, что кромѣ барометрическаго паденія и сообщенной воздуху вращеніемъ земли центробѣжной силы, должны быть приняты въ разсчетъ еще сила тяжести и сопротивленіе движенію воздуха.



Фиг. 2.

Весьма простой результатъ вычисленія получаютъ, пренебрегая сперва сопротивленіемъ тренія и принимая, что движеніе происходитъ въ плоскости, перпендикулярной силѣ тяжести, (что вполнѣ допустимо для небольшихъ протяженій земной поверхности). Возьмемъ эту плоскость за плоскость координатъ xy; за ось X-овъ возьмемъ касательную къ параллельному кругу въ точкѣ O (фиг. 2), которую принимаемъ за начало координатъ, и которая совпадаетъ съ центромъ массы движущейся частицы воздуха: за ось Y-овъ принимаемъ касательную къ меридіану или полуденную линію, а за ось Z-овъ принимаемъ проходящее черезъ точку O направленіе силы тяжести. Затѣмъ обозначимъ, какъ и раньше, черезъ β географическую широту мѣста; ось X-овъ будемъ считать положительной къ востоку, ось Y-овъ будемъ считать положительной къ югу, а ось Z-овъ будемъ считать положительной по направленію ускоренія силы тяжести; тогда составляющія сложнаго центробѣжнаго ускоренія *) для угловой скорости w вращенія земли будутъ:

$$\text{по оси X-овъ: } 2w \cdot \cos\beta \frac{dz}{dt} - 2w \cdot \sin\beta \frac{dy}{dt},$$

$$\text{по оси } Y\text{-овъ: } 2w \cdot \sin\beta \frac{dx}{dt},$$

$$\text{по оси } Z\text{-овъ: } -2w \cdot \cos\beta \frac{dx}{dt}.$$

Составляющія ускоренія силы тяжести, по оси X-овъ и оси Y-овъ $= 0$, а по оси Z-овъ $= g$. Принятое нами условіе, что частица должна оставаться въ горизонтальной плоскости, даетъ намъ впередъ $\frac{dz}{dt} = 0$, и $\frac{d^2z}{dt^2} = 0$, и можетъ быть удовлетворено лишь тогда, когда частица на этой плоскости испытываетъ нѣкоторое ускореніе сопротивленія N, прямо противоположное ускоренію силы тяжести.

Отнесенныя къ единицѣ массы эти силы поэтому будутъ:

$$10) \quad \frac{d^2x}{dt^2} = X = -2w \cdot \sin\beta \frac{dy}{dt},$$

$$11) \quad \frac{d^2y}{dt^2} = Y = 2w \cdot \sin\beta \frac{dx}{dt},$$

$$12) \quad \frac{d^2z}{dt^2} = Z = 0 = -2w \cdot \cos\beta \frac{dx}{dt} + g - N.$$

Помноживъ ур. 10) на $\frac{dx}{dt}$ и ур. 11) на $\frac{dy}{dt}$ и сложивъ ихъ, получимъ:

---

*) Составляющія сложнаго центробѣжнаго ускоренія, равныя и прямо противоположныя составляющимъ центростремительнаго ускоренія, какъ извѣстно, выражаются:

$$X_w = 2\left(w_y \cdot \frac{dz}{dt} - w_z \cdot \frac{dy}{dt}\right),$$

$$Y_w = 2\left(w_z \cdot \frac{dx}{dt} - w_x \cdot \frac{dz}{dt}\right),$$

$$Z_w = 2\left(w_x \cdot \frac{dy}{dt} - w_y \cdot \frac{dx}{dt}\right),$$

гдѣ w_x, w_y и w_z означаютъ составляющія угловой скорости; для разсматриваемаго случая такъ какъ w означаетъ угловую скорость вращенія земли, имѣемъ

$$w_x = 0, \qquad w_y = w \cdot \cos\beta, \qquad w_z = w \cdot \sin\beta.$$

$$\frac{d^2x}{dt^2}\cdot\frac{dx}{dt}+\frac{d^2y}{dt^2}\cdot\frac{dy}{dt}=0,\ \left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2=C;$$

такъ какъ C можетъ обозначать ничто иное, какъ квадратъ начальной скорости, то, обозначивъ черезъ α уголъ, образуемый этой начальной скоростью v_0 съ осью X-овъ, и принимая во вниманіе значеніе составляющихъ этой скорости, послѣ интегрированія уравненій 10) и 11) получаемъ:

$$13)\ \frac{dx}{dt}=v_0\,.\cos\alpha-2w\,.\sin\beta\,.\,y,$$

$$\text{и }14)\ \frac{dy}{dt}=v_0\,.\sin\alpha+2w\,.\sin\beta\,.\,x;$$

подставляя эти значенія въ уравненіе $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2=v_0^2$, получаемъ относительный путь разсматриваемой точки въ видѣ круга:

$$15)\ \left(y-\frac{v_0\,.\cos\alpha}{2w\,.\sin\beta}\right)^2+\left(x+\frac{v_0\,.\sin\alpha}{2w\,.\sin\beta}\right)^2=\left(\frac{v_0}{2w\,.\sin\beta}\right)^2,$$

радіусъ котораго будетъ $R=\frac{v_0}{2w\,.\sin\beta}$, и координаты центра котораго будутъ:

$$x_1=-\frac{v_0\sin\alpha}{2w\,.\sin\beta},\qquad y_1=\frac{v_0\cos\alpha}{2w\,.\sin\beta}.$$

Построивъ этотъ центръ для произвольнаго направленія скорости, увидимъ, что онъ долженъ лежать на линіи, проходящей черезъ начало координатъ и перпендикулярной къ направленію скорости, такъ какъ $\frac{x_1}{y_1}=-\operatorname{tg}\alpha$, и радіусъ R слѣд. образуетъ съ этими координатами x_1, y_1 треугольникъ, подобный образуемому сторонами v_0, $v_0\sin\alpha$ и $v_0\cos\alpha$. Если стать по направленію этой скорости v_0 такъ, что стрѣлка, обозначающая это направленіе, проходитъ въ спину, то центръ круговаго пути воздушной частицы всегда будетъ лежать съ правой стороны; такимъ образомъ мы видимъ, что частица воздуха *вслѣдствіе вращенія земли всегда будетъ уклоняться вправо (отъ начальнаго направленія движенія)*, каково-бы ни было направленіе его начальной скорости, если только β имѣетъ положительное значеніе.

Если β будетъ отрицательнымъ, т. е. если переходимъ къ разсмотрѣнію движенія воздушной частицы на южномъ полушаріи, то координаты центра круговаго пути будутъ:

$$x_1=-\frac{v_0\,.\sin\alpha}{2w\,.\sin(-\beta)}=+\frac{v_0\,.\sin\alpha}{2w\,.\sin\beta},\qquad y_1=-\frac{v_0\,.\cos\alpha}{2w\,.\sin\beta},$$

откуда мы видимъ, что при тѣхъ-же предположеніяхъ относительно положенія наблюдателя центръ всегда будетъ расположенъ влѣво отъ описываемаго пути. *На южномъ полушаріи слѣд. воздушная частица вслѣдствіе вращенія земли всегда будетъ уклоняться влѣво отъ начальнаго направленія своего движенія.*

Такимъ образомъ воздухъ не будетъ двигаться по направленію барометрическаго градіента, какъ это имѣло-бы мѣсто, если-бы не происходило вращенія земли. Если стать спиной къ вѣтру, то на сѣверномъ полушаріи мѣсто низшаго стоянія барометра будетъ лежать влѣво и нѣсколько впереди, а мѣсто высшаго стоянія барометра будетъ лежать вправо и нѣсколько сзади. На южномъ полушаріи явленіе будетъ обратное (законъ Buijs-Ballot'a).

Само собой разумѣется, что во всякое время имѣется одна изобара, на которой атмосферное давленіе достигаетъ своего maximum'a, и другая, на которой оно имѣетъ свой minimum. Отъ барометрическаго максимума воздухъ устремляется во всѣ стороны по криволинейнымъ путямъ, которые, постоянно измѣняясь отъ вращенія земли, спирально извиваются вокругъ центра; къ барометрическому минимуму происходитъ притокъ воздуха, который по той-же причинѣ двигается по спиралеобразному пути вокругъ центра этого минимума. Но такъ какъ въ мѣстѣ максимума воздухъ устремляется и наружу, то воздухъ, находящійся выше максимума, устремляется въ это пространство; этотъ холодный и бѣдный водяными парами воздухъ высшихъ слоевъ съ жадностью поглощаетъ въ себѣ находящіеся еще возлѣ мѣста максимума водяные пары, и по-

этому здѣсь постоянно бываетъ ясное небо и существуетъ наклонность къ постоянной погодѣ. На этомъ основано также заключеніе о хорошей погодѣ по высокому стоянію барометра. Надъ барометрическимъ минимумомъ, наоборотъ образуется теченіе воздуха кверху, которое увлекаетъ съ собой водяной паръ въ верхніе слои, гдѣ онъ долженъ сгущаться въ облака или осадки. Вслѣдствіе освобождающейся отъ конденсаціи пара теплоты происходитъ ускореніе поднятія воздуха и дальнѣйшее пониженіе существующаго уже низкаго давленія атмосферы. Поэтому барометрическій минимумъ не остается постоянно на одномъ и томъ же мѣстѣ, а постоянно измѣняетъ свое положеніе, направляясь къ тому мѣсту, котораго достигаетъ при своемъ поднятіи воздухъ, наиболѣе богатый содержаніемъ водяныхъ паровъ, такъ какъ въ этомъ мѣстѣ происходитъ наиболѣе энергичное поднятіе воздуха, а вмѣстѣ съ нимъ и наиболѣе значительное его разрѣженіе.

Распространяющійся такимъ образомъ вихрь обыкновенно вызываетъ измѣненія погоды въ тѣхъ мѣстахъ, надъ которыми онъ двигается. Если для какого нибудь момента времени знать положеніе всѣхъ изобаръ какой нибудь области, то можно съ нѣкоторой вѣроятностью установить предсказаніе погоды въ этой области. Подобныя предсказанія погоды дѣйствительно даются центральными или главными метеорологическими станціями.

Безъ атмосферическихъ движеній подымающійся въ атмосферу отъ испаренія водяной паръ при каждомъ пониженіи температуры сгущался бы въ жидкую воду всегда на приблизительно одномъ и томъ же мѣстѣ; въ подобномъ случаѣ воздухъ надъ поверхностями морей всегда былъ бы слишкомъ влаженъ, а надъ сушей—слишкомъ сухъ, такъ какъ время, въ теченіи котораго происходятъ ежедневныя колебанія температуры, не допускало бы распредѣленія путемъ диффузіи водяныхъ паровъ въ широкихъ предѣлахъ. Но такъ какъ вѣтры, проходящіе надъ большими поверхностями морей, направляются къ барометрическимъ минимумамъ материковъ и при своемъ, большею частью весьма быстромъ, движеніи увлекаютъ съ собой громадныя количества водяного пара, то материки получаютъ часть отдѣляющихся отъ морей водяныхъ паровъ. Чѣмъ чаще въ какой-либо мѣстности циркулируютъ подобныя, богатыя водяными парами, теченія, называемыя влажными или дождевыми вѣтрами, тѣмъ вообще влажнѣе будетъ воздухъ надъ этой мѣстностью, и наоборотъ. Если же по направленію барометрическаго минимума вѣтры дуютъ изнутри материка, то большей частью они не только не прибавляютъ водяныхъ паровъ къ находящимся уже въ воздухѣ, но, наоборотъ, сами поглощаютъ часть послѣднихъ, отвлекая влажность изъ данной мѣстности. Вообще въ каждой данной мѣстности количество водяныхъ паровъ временами увеличивается и временами уменьшается; но окончательно они нигдѣ на земной поверхности не исчезаютъ.

Наконецъ необходимо еще упомянуть о томъ обстоятельствѣ, что внѣшняя атмосфера вслѣдствіе скважности почвы продолжается и внутри материка до того мѣста, гдѣ она тамъ встрѣчаетъ водяную поверхность, называемую горизонтомъ грунтовыхъ водъ; начиная съ этого мѣста, всѣ поры почвы заполнены по возможности водой. Само собой разумѣется, что и отъ горизонта грунтовыхъ водъ происходитъ постоянный переходъ воды изъ жидкаго въ газообразное состояніе. Образующіеся изъ грунтовой воды водяные пары сообщаются съ надземной атмосферой, въ которую они подымаются, насколько это допускается разностью давленій; но при одинаковыхъ разностяхъ давленій это смѣшеніе происходитъ гораздо медленнѣе, чѣмъ соединеніе водянаго пара въ открытомъ воздухѣ, такъ какъ подымающійся изъ почвы воздухъ при проходѣ черезъ небольшія поры

почвы долженъ преодолѣвать весьма значительныя сопротивленія. Точно такое-же явленіе происходитъ и въ томъ случаѣ, когда болѣе тяжелый атмосферный воздухъ стремится вытѣснять почвенный воздухъ, т. е. стремится проникнуть въ поры почвы; въ этомъ случаѣ требуется довольно значительный промежутокъ времени для установленія равновѣсія между обоими давленіями. Связь между почвенной и наружной атмосферами можетъ быть нѣсколько нарушена плотными снѣжными покровами и т. под. причинами, о которыхъ будетъ сказано ниже.

Подземная атмосфера по занимаемому ею пространству весьма мала въ сравненіи съ надземной.

На плоскихъ низменностяхъ или въ долинахъ, въ которыхъ грунтовая вода является уже на средней глубинѣ 3—4 метр., а иногда даже на 1—2 метр., отъ верхней поверхности земли, объемъ подземной атмосферы приблизительно равенъ объему призмы, съ основаніемъ, равнымъ плоскости почвы, и высотой въ 0,5—1 метр.; въ гористыхъ мѣстностяхъ средній объемъ подземной атмосферы при томъ же основаніи выражается высотой $1^1/_2-3$ метр. При этомъ предполагается, что приблизительно отъ $^1/_2$ до $^1/_4$ объема почвы состоитъ изъ скважинъ, которыя могутъ быть заняты воздухомъ.

Въ общемъ слѣдуетъ полагать, что почвенный воздухъ на всемъ протяженіи подземной атмосферы вполнѣ или почти вполнѣ насыщенъ водяными парами.

3. Обратное образованіе жидкой и твердой воды изъ газообразнаго ея состоянія.

Обратное образованіе жидкой и твердой воды изъ воды въ газообразномъ ея состояніи происходитъ подъ вліяніемъ пониженія температуры съ того момента, когда температура дѣлается ниже точки появленія росы; впрочемъ въ гигроскопическихъ тѣлахъ оно, какъ упомянуто было выше, можетъ произойти уже тогда, когда на другихъ тѣлахъ роса еще не осаждается.

Много примѣровъ приводится въ сочиненіи van der Mensbrugghe, какъ напр., отсырѣніе тюля, полотна, шерстяныхъ тканей, волоса, пергамента, шероховатой бумаги, желатины и проч. а также ржавленіе иголокъ, воткнутыхъ въ катушки нитокъ, раньше точки появленія росы; дѣйствіе частицъ пыли въ воздухѣ на преждевременное образованіе дождя и т. д. Болѣе важное значеніе для нашихъ цѣлей имѣютъ наблюденія Masure [1]) и друг. надъ конденсаціей въ почвѣ, представляющей собой въ сущности гигроскопическое вещество. Masure при своихъ наблюденіяхъ нашелъ, что подобныя преждевременныя конденсаціи большей частью происходятъ въ глинѣ, а въ замѣтной степени и въ пескѣ, но весьма слабо въ известковомъ порошкѣ и т. д. и, напр., для чернозема или садовой земли толщ. 0,12 метр. перевѣсъ конденсаціи втеченіи второй половины ночи надъ испареніемъ въ теченіи первой половины въ среднемъ составляетъ 0,1 милиметр. за ночь, а слѣд. за годъ оно составляетъ 36,5 милиметр. высоты воды.

Большая часть обратныхъ образованій происходитъ отъ охлажденій въ атмосферѣ; эти охлажденія могутъ произойти отъ различныхъ причинъ: первое мѣсто занимаетъ лучеиспусканіе въ міровое пространство, затѣмъ слѣдуетъ потеря теплоты, соотвѣтствующая уменьшенію давленія, наконецъ всевозможныя случайныя причины, какъ напр., если теплые влажные вѣтры дуютъ въ холодныхъ мѣстностяхъ, или при соединеніи холоднаго воздуха съ теплымъ и влажнымъ, и т. д.

Лучеиспусканіе въ міровое пространство происходитъ сильнѣе всего ночью, и въ это-же время замѣчаются его послѣдствія, обнаруживаемыя въ видѣ появленія росы или инея на тѣлахъ лежащихъ на поверхности земли. При сгущеніи водяныхъ паровъ, какъ это извѣстно, освобождается теплота; поэтому если точка росы воздуха находится выше или немного ниже нуля, то образуются водяныя капли; если-же точка росы замѣтно ниже нуля, то образуется иней. Опредѣляя точку появленія росы помощью психрометра, нетрудно напередъ опредѣлить, какого рода осадки будутъ образоваться въ каждомъ данномъ случаѣ.

Теоретически доказано, что на каждые 100 метр. высоты температура сухой атмосферы измѣняется на 1°C, понижаясь съ увеличеніемъ высоты и повышаясь съ уменьшеніемъ ея.

---

[1]) Masure, F. Annales agronomiques т. 6, стр. 481 за 1872 г. и т. 8, стр. 261 за 1881 г.

Уменьшеніе удѣльнаго давленія въ атмосферѣ происходитъ по опредѣленному закону (см. отд. IV), выражаемому формулой:

$$p = p_0 e^{-\frac{R}{29{,}27\,(273+t)}\,\frac{z}{R+z}}$$

Подставивъ сюда среднее значеніе радіуса земли въ круглыхъ числахъ R=6370000 метр. [1]) и вычисливъ высоту z, для которой $p = 0{,}5\ p_0$, получаемъ при t=o z= въ круглыхъ чис. 5400 метр. По законамъ механической теоріи теплоты можно вычислить количество теплоты, которое должно быть израсходовано для увеличенія объема атмосфернаго воздуха въ два раза, и для даннаго случая находимъ, что требуется повышеніе температуры около 54°C. Если эта потребная теплота не сообщается извнѣ, то она должна быть заимствована изъ воздуха, соотвѣтственно понижая его температуру. Отсюда можно заключить, что воздушное теченіе, поднявшееся на высоту 5400 метр. и расширенное до двойного своего первоначальнаго объема, понижаетъ свою температуру на 54°C. Содержаніе водяного пара, которое воздухъ при такой низкой температурѣ не можетъ заключать въ себѣ, необходимо при этомъ выдѣляется.

Но вслѣдствіе содержанія въ воздухѣ водяныхъ паровъ и ихъ конденсаціи замѣчается нѣкоторое отступленіе отъ приведеннаго вывода. Температура воздуха по мѣрѣ поднятія вверхъ понижается тѣмъ медленнѣе, чѣмъ больше въ немъ содержится водяныхъ паровъ. Затѣмъ, когда температура достигла точки росы для воздуха, смѣшаннаго съ водянымъ паромъ, то при восходящемъ движеніи воздуха начинается сгущеніе водяныхъ паровъ (образованіе облаковъ), а вмѣстѣ съ нимъ и дѣйствіе освобождающейся при этомъ теплоты. Послѣдняя противодѣйствуетъ охлажденію, вслѣдствіе чего пониженіе температуры въ значительной степени ослабляется. Когда воздухъ опускается, при чемъ ему не сообщается и отъ него не заимствуется теплоты, то происходящее при опусканіи уплотненіе воздуха вызываетъ его нагрѣваніе, которое попутно расходуется для обращенія въ газообразное состояніе раньше выдѣлившейся изъ него воды и т. д.

Если струя влажнаго воздуха подъ вліяніемъ барометрическаго минимума должна подняться на гору, то, вслѣдствіе уменьшенія давленія и вызываемаго имъ соотвѣтственнаго охлажденія воздуха, послѣдній выдѣляетъ часть содержащихся въ немъ водяныхъ паровъ; при этомъ образуются облака, и нижняя граница области тучъ опредѣляется той высотой, на которой подымающійся воздухъ достигаетъ точки росы. Если эта струя воздуха съ другой стороны горы можетъ опять опуститься внизъ, то онъ постепенно снова пріобрѣтаетъ только начальную свою температуру, но не содержаніе водяныхъ паровъ. Представимъ себѣ, напр., Альпійскую горную цѣпь высот. 2500 метр., поперегъ которой подымается южный вѣтеръ. По мѣрѣ того, какъ влажная воздушная струя подымается по южному склону горы, значительная часть содержащагося въ воздухѣ водяного пара выдѣляется изъ него въ видѣ осадковъ. При этомъ температура воздуха понижается только приблизительно на 0,58° для каждыхъ 100 метровъ высоты его поднятія, такъ какъ вслѣдствіе конденсаціи паровъ выдѣляется свободная теплота. Когда, наконецъ, воздушная струя по достиженіи ею вершины цѣпи начнетъ опускаться, то вслѣдствіе прекращенія конденсаціи воздухъ будетъ нагрѣваться согласно приведенному разсчету приблизительно на 1° на каждые 100 метровъ опусканія.

Такимъ образомъ будетъ:

	на южной сторонѣ	на высотѣ 2500 метр.	на сѣверной сторонѣ
Давленіе воздуха	760	564.3	755,2
Температура	20°	5,9°	30,5°
Упругость паровъ	15,0 мил.	7,0 мил.	9.4 мил.
Относительная влажность .	86%	100%	29%.

Спускающійся въ Альпійской цѣпи вѣтеръ извѣстенъ въ Швейцаріи подъ названіемъ „Föhn".

[1]) По вычисленіямъ Бесселя (1830), Эри (1830) и Листинга (1878)
Экваторіальный діаметръ земли въ среднемъ составляетъ $2a = 12754843$ метр.
Полярный діаметръ „ „ „ $2b = 12\ 10533$ „
такъ что средній радіусъ $r = \sqrt[3]{a^2 b} =$ въ круглыхъ числахъ 6370000 метр.

Когда теплый влажный вѣтеръ проходитъ по холоднымъ мѣстностямъ или смѣшивается съ холодными воздушными струями, то подобнымъ-же путемъ можетъ образоваться такая температура, при которой содержаніе въ воздухѣ водяныхъ паровъ превышаетъ мѣру, соотвѣтствующую его состоянію насыщенія, вслѣдствіе чего точно также должны произойти сгущенія, обнаруживающіяся сперва въ видѣ тумана или облаковъ.

При всѣхъ этихъ сгущеніяхъ быстрому ихъ образованію препятствуетъ освобождающаяся при самомъ явленіи теплота. Явленіе вообще чрезвычайно сложно и не поддается ни точному вычисленію, ни точнымъ наблюденіямъ, вслѣдствіе постоянно происходящихъ на нашихъ глазахъ различныхъ измѣненій. Различныя происходящія отъ конденсаціи явленія извѣстны подъ различными названіями, и между ними преимущественно различаютъ туманы и облака, затѣмъ росу, иней, дождь, снѣгъ и градъ. Туманъ и облако въ сущности представляютъ собой одно и то же явленіе: облака суть ничто иное, какъ туманъ въ высшихъ слояхъ атмосферы, и оба они состоятъ изъ весьма малыхъ водяныхъ капель. Неопредѣленный или неясный видъ тумана, который мы видимъ, находясь въ непосредственной близости къ нему, совершенно исчезаетъ, когда мы разсматриваемъ его массу издали; точно также рѣзкія очертанія облаковъ исчезаютъ, какъ только мы смотримъ на нихъ не издали, а находясь въ нихъ непосредственно. Туманы главнымъ образомъ образуются тогда, когда температура земной поверхности ниже точки росы находящагося надъ ней воздуха, или-же когда водяныя поверхности или влажная почва бываютъ теплѣе расположеннаго надъ ними и насыщеннаго водяными парами воздуха; наконецъ образованіе тумана происходитъ также и тогда, когда массы холоднаго воздуха смѣшиваются съ массой теплаго и влажнаго воздуха; этимъ объясняется замѣчаемое нами выдѣленіе пара отъ ручьевъ, рѣкъ, озеръ, свѣже вспаханной земли, луговъ и проч. Когда туманъ подымается вверхъ, то онъ попадаетъ въ болѣе холодные воздушные слои и во многихъ случаяхъ служитъ причиной падающихъ на землю болѣе крупныхъ водяныхъ капель. Если туманъ изъ высшихъ холодныхъ областей спускается въ низшіе болѣе теплые и наполненные болѣе сухимъ воздухомъ слои, то онъ обращается въ совершенно прозрачный водяной паръ, вслѣдствіе чего при послѣднемъ явленіи можно ожидать ясной погоды, между тѣмъ какъ при предыдущемъ явленіи можно ожидать дождя.

Для интересующаго насъ предмета намъ наиболѣе важны тѣ конденсаціи, которыя достигаютъ земной поверхности въ видѣ дождя, снѣга, града, росы или инея, оставляя на ней жидкую воду; эти сгущенія постоянно происходятъ тогда, когда уплотненіе водяныхъ паровъ при образованіи облаковъ происходитъ весьма быстро. Если при этомъ температура была выше 0°C, то образуются водяныя капли (дождь); если же температура была ниже 0°C, то образуются ледяные кристаллы, достигающіе земной поверхности въ видѣ снѣга или града. Всѣ жидкіе или твердые продукты сгущенія, достигающіе земной поверхности, называются атмосферными осадками или просто осадками; подъ общимъ названіемъ „гидрометеоровъ“ разумѣются не одни только осадки, но и всѣ сопровождающія ихъ метеорологическія явленія, какъ напр., туманы, облака и проч.

Количества осадковъ на континентахъ вообще вездѣ обусловливаются видомъ воздушныхъ теченій или господствующими вѣтрами; послѣдніе въ свою очередь зависятъ отъ распредѣленія воздушнаго давленія. Сильное охлажденіе континентовъ въ зимнее время благопріятствуетъ развитію надъ ними весьма высокаго воздушнаго давленія въ это время года, вслѣдствіе чего воздухъ получаетъ стремленіе направить свое теченіе къ экватору и теплымъ морямъ. Лѣтомъ происходитъ обратное явленіе: въ это время года земная поверхность континентовъ въ сильной степени нагрѣвается, между тѣмъ какъ поверхности морей остаются сравнительно холодными; вслѣдствіе этого получается уменьшенное давленіе атмосферы надъ сушей и стремленіе воздуха, находящагося надъ поверхностью моря подъ болѣе высокимъ давленіемъ, направить свое теченіе къ континенту.

Положеніе Европы таково, что въ ней атмосферные осадки могутъ образоваться во всякое время года; но тѣмъ не менѣе, на югѣ этой части свѣта находится полоса земли, въ кото-

рой въ теченіи лѣта образуется весьма мало осадковъ и которая извѣстна подъ названіемъ подтропическаго пояса. Этотъ послѣдній въ теченіе времени отъ Іюня до Августа м-ца находится въ области сѣверо-восточныхъ вѣтровъ (tramontana), между тѣмъ какъ средняя и восточная часть Европы въ теченіе всего года подвержены перемѣнному дѣйствію экваторіальныхъ и полярныхъ теченій. Для Европы дождевыми вѣтрами бываютъ юго-западный и западный вѣтры. Осенью, когда море еще нагрѣто въ довольно высокой степени, эти вѣтры несутъ съ собой весьма много водяныхъ паровъ, которые уже на морскихъ берегахъ сгущаются, встрѣчаясь съ почвой, достаточно охлажденной уже вслѣдствіе лучеиспусканія. Вслѣдствіе этого на западныхъ берегахъ Европы осенніе дожди бываютъ чрезвычайно обильны. Но такъ какъ разница въ температурахъ суши и моря бываетъ и зимой, то и зимой въ этихъ мѣстностяхъ замѣчаются весьма обильные осадки. Наибольшее количество дождя за лѣтніе мѣсяцы въ средней и восточной Европѣ бываетъ потому, что въ нашихъ широтахъ южный вѣтеръ въ это время опускается на поверхность земли, и что въ теченіи лѣтнихъ мѣсяцевъ, вслѣдствіе сильнаго нагрѣванія лучами солнца, воздухъ содержитъ въ себѣ значительныя количества водяныхъ паровъ, которые тотчасъ-же послѣ поднятія воздуха съ нагрѣтыхъ континентовъ опять сгущаются. Южная граница области дождей находится на Альпахъ, а западная расположена вблизи морскаго берега Европы.

Орографическій рельефъ мѣстности имѣетъ весьма замѣтное вліяніе на образованіе осадковъ. Затѣмъ замѣчается тотъ фактъ, что количество осадковъ въ высоко лежащихъ мѣстностяхъ гораздо значительнѣе, нежели въ мѣстностяхъ низменныхъ; точно также можно вообще наблюдать, что въ крутыхъ гористыхъ мѣстностяхъ количество осадковъ бываетъ значительнѣе, нежели въ покато-холмистыхъ мѣстностяхъ; наконецъ количества осадковъ на равнинахъ достигаютъ своего минимума.

Равнина допускаетъ равномѣрное движеніе протекающихъ надъ ней воздушныхъ струй, а также и равномѣрное распредѣленіе подымающихся съ самой равнины водяныхъ паровъ; аналогично съ этимъ образуются и равномѣрные атмосферные осадки. Нѣсколько иное явленіе встрѣчается уже въ холмистыхъ мѣстностяхъ, въ которыхъ подымающіеся съ почвы, неодинаково нагрѣтые, водяные пары для достиженія состоянія равновѣсія приходятъ въ весьма энергичное движеніе, и проходящія надъ мѣстностью воздушныя теченія должны такимъ образомъ протекать подъ измѣняющимися паденіями. Всѣ эти движенія благопріятствуютъ сгущенію водяныхъ паровъ, такъ что уже вслѣдствіе этого количество осадковъ въ холмистыхъ мѣстностяхъ бываетъ значительнѣе, нежели въ мѣстностяхъ плоскихъ или на равнинахъ. Эти нарушенія движенія воздушныхъ теченій еще въ болѣе сильной степени обнаруживаются на высокихъ горахъ, и такъ какъ съ увеличеніемъ ихъ высоты надъ уровнемъ моря (помимо зимы) понижается и температура, то здѣсь теплый и богатый содержаніемъ паровъ воздухъ быстрѣе и въ болѣе обильныхъ количествахъ выдѣляетъ содержащіеся въ немъ водяные пары. Поэтому на высокихъ горахъ количество осадковъ вообще достигаетъ своего максимума. Если горныя цѣпи расположены такъ, что дождевые (юго-западные) вѣтры направляются къ нимъ перпендикулярно, то онѣ заставляютъ ихъ подыматься вверхъ и сгущать содержащіеся въ нихъ водяные пары; та сторона горы, на которой происходитъ это сгущеніе, по отношенію къ направленію вѣтра называется навѣтренной стороной, а противоположная сторона горы называется подвѣтренной стороной. На подвѣтренной сторонѣ горы происходитъ опусканіе воздушныхъ струй, уже лишенныхъ большей части содержавшихся въ нихъ водяныхъ паровъ, такъ что здѣсь количества осадковъ будутъ относительно меньше. Если-же горныя цѣпи имѣютъ такое расположеніе, что ихъ направленіе совпадаетъ съ направленіемъ дождевыхъ вѣтровъ, то по обѣимъ сторонамъ горной цѣпи количества осадковъ будутъ одинаковы, если при этомъ не принять въ разсчетъ вліянія растительности (лѣсовъ и проч.). Если за горами съ подвѣтренной ихъ стороны расположены большія водяныя поверхности, то воздушныя струи могутъ заимствовать отъ послѣднихъ водяные пары и такимъ образомъ пополнить потерянные ими содержаніе паровъ; въ противномъ-же случаѣ эти струи по мѣрѣ опусканія къ континенту дѣлаются постепенно бѣднѣе содержаніемъ паровъ. Противоположные дождевымъ вѣтрамъ сѣверо-восточные и восточные вѣтры вообще бываютъ сухіе и холодные; стороны горъ, перпендикулярныя направленію подобныхъ вѣтровъ, получаютъ поэтому весьма мало осадковъ, хотя при переходѣ черезъ горы будутъ имѣть мѣсто выше разсмотрѣнныя нами явленія. Необходимо здѣсь еще разъ повторить, что не одна

только температура высоко расположенныхъ мѣстностей служитъ причиной обильныхъ сгущеній, но послѣднія обусловливаются также уменьшеніемъ давленія воздуха, вслѣдствіе расширенія воздушныхъ массъ и связанной съ этимъ измѣненіемъ состоянія разностью температуры.

Одиноко стоящая гора оказываетъ на воздушныя теченія нѣсколько иное дѣйствіе, чѣмъ горная цѣпь: здѣсь удерживается только одна часть мимо протекающаго воздуха; другая-же часть безпрепятственно можетъ продолжать свой путь. Если та часть воздуха, которая поднялась на гору, вслѣдствіе этого восходящаго движенія, значительно охладилась, перешла въ тонкій туманъ и издали кажется висящей надъ вершиной горы тучей [1]), то тѣмъ не менѣе этотъ туманъ всегда остается въ соприкосновеніи съ теплымъ воздухомъ, окружающимъ гору, а, уносимый этимъ воздухомъ, онъ опять превратится въ невидимый водяной паръ. Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ осадки будутъ весьма ничтожны, если только лучеиспусканіе въ теченіи ночи не произвело особаго дѣйствія; но такъ какъ при этомъ вліяніе лучеиспусканія бываетъ особенно сильно на вершинѣ горы, то въ теченіе ночи температура здѣсь убываетъ гораздо быстрѣе, нежели въ долинахъ. Это обстоятельство вызываетъ движеніе охлажденныхъ массъ воздуха внизъ, а вмѣстѣ и съ тѣмъ всасываніе окружающаго теплаго воздуха къ вершинѣ горы, гдѣ послѣдній охлаждается и соотвѣтственно пониженію температуры выдѣляетъ продукты сгущенія въ видѣ дождя или снѣга. Поэтому на отдѣльно стоящихъ горахъ осадки происходятъ не съ навѣтренной стороны, а вообще равномѣрно и преимущественно на вершинахъ.

Долины, если онѣ захватываютъ значительную ширину, въ отношеніи осадковъ могутъ быть приравнены къ равнинамъ, и въ этомъ случаѣ на нихъ образуется незначительное количество равномѣрныхъ осадковъ; подобное образованіе осадковъ тѣмъ больше будетъ имѣть мѣсто, чѣмъ ближе главное направленіе долины совпадаетъ съ направленіемъ дождевыхъ вѣтровъ. Если же, наоборотъ, долины слишкомъ извилисты и сравнительно узки, то онѣ будутъ служить исходными точками мѣстныхъ сгущеній, преимущественно если онѣ глубоко врѣзаны, т. е. представляютъ собой глубокія выемки. Въ подошвахъ долинъ воздухъ въ теченіе ночи будетъ постоянно теплѣе и богаче содержаніемъ паровъ, нежели на окружающихъ горахъ, съ которыхъ слѣд. холодный воздухъ будетъ спускаться внизъ и, смѣшиваясь съ воздухомъ въ долинѣ, вызоветъ появленіе росы; точно такое же явленіе можетъ имѣть мѣсто, если въ другое время надъ холодными нижними слоями воздуха въ долинѣ находятся теплые слои воздуха съ обильнымъ содержаніемъ водяныхъ паровъ, причемъ происходитъ ихъ смѣшеніе.

Изъ всѣхъ происходящихъ въ атмосферѣ сгущеній, какъ упомянуто выше, для насъ имѣютъ значеніе только тѣ, которыя дѣйствительно обнаруживаются на земной поверхности въ видѣ жидкой воды, какъ напр., дождь, снѣгъ, иней, роса, градъ и т. п. Туманы и облака, какъ не установившіеся и постоянно измѣняющіеся виды осадковъ, не могутъ быть приняты въ разсчетъ, такъ какъ далеко не изъ всякаго облака на поверхности земли получается осадокъ въ видѣ жидкой или твердой воды, а большая часть облаковъ, какъ это можно наблюдать во всякое время, опять превращается въ невидимые водяные пары.

[1]) D-r C. Cranz съ вершины горы Монте Пеллегрино въ Сициліи наблюдалъ, какъ во время совершенно яснаго безоблачнаго неба и при высокой температурѣ только каждая изъ отдѣльныхъ горныхъ вершинъ въ значительномъ числѣ окружающихъ эту гору, покрывалась шапкой облаковъ, имѣвшей въ точности видъ каждой соотвѣтствующей вершины.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что съ увеличеніемъ высоты мѣста наблюденія замѣчается увеличеніе количества осадковъ; въ *свободной-же атмосферѣ* условія какъ разъ обратны: здѣсь количество дождя съ увеличеніемъ высоты уменьшается [1]). Наблюденія показали, что это уменьшеніе происходитъ гораздо быстрѣе въ нижнихъ слояхъ, нежели въ верхнихъ, и въ холодное время года бываетъ больше, нежели въ теплое время; точно также въ различные года оно бываетъ различно, будучи подвержено значительнымъ колебаніямъ, и вообще оно весьма трудно поддается точному опредѣленію, такъ какъ оно неодинаково для различныхъ мѣстъ. Эти факты необходимо принять во вниманіе, если желаютъ воспользоваться данными дождемѣра, употребляемаго для измѣренія ежегоднаго количества (высоты) осадковъ въ данной мѣстности.

Такъ, дождемѣръ, установленный на крышѣ Мюнстерской башни въ Іоркѣ, въ теплое время года показываетъ 63,3%, а въ болѣе холодное время 49,9% того количества осадковъ, которое показывается другимъ дождемѣромъ, поставленнымъ въ саду на 77 метровъ ниже перваго дождемѣра.

За исключеніемъ зимняго времени, можно принять за правило, что съ увеличеніемъ высоты надъ уровнемъ моря температура воздуха понижается; по наблюденіямъ Ганна, принявшаго во вниманіе нормальное содержаніе водяныхъ паровъ, пониженіе температуры воздуха составляетъ 0,58° на каждые 100 метровъ поднятія. Если высота такъ велика, что температура не можетъ подняться, или въ исключительныхъ случаяхъ только подымается, выше точки замерзанія, то въ такихъ областяхъ атмосферные осадки почти исключительно будутъ состоять изъ льду. Образующіяся при этомъ тонкія ледяныя иглы группируются затѣмъ въ снѣгъ, и тѣ высокія горы, на которыхъ рѣдко замѣчается какой-либо другой видъ осадковъ, называются снѣговыми горами (или скорѣе снѣговыми вершинами).

Нижняя граница на склонахъ горъ, выше которой образовавшійся такимъ образомъ снѣгъ долго противостоитъ совокупному дѣйствію солнечной теплоты и испаренія, называется нижней границей вѣчныхъ снѣговъ или снѣжной линіей. Въ Западной Европѣ Альпы (Тирольскія и Швейцарскія) представляютъ собой горы, на которыхъ находятся вѣчные снѣга, при извѣстныхъ условіяхъ образующихъ собой глетчеры. Въ Европейской Россіи вѣчные снѣга встрѣчаются на Кавказскихъ горахъ; въ западной Сибири — на Алтайскихъ горахъ; въ восточной Сибири (Иркутск. губ.) вѣчные снѣга встрѣчаются на Восточномъ Саянѣ, на южномъ склонѣ горы Мунко-Сардыкъ.

До сихъ поръ мы разсматривали зависимость количества осадковъ отъ географическаго положенія мѣста, отъ господствующихъ вѣтровъ, отъ окружающихъ горныхъ цѣпей и проч.; теперь остается намъ разсмотрѣть вліяніе растительнаго міра, преимущественно лѣсовъ, на высоту атмосферныхъ осадковъ въ данной мѣстности.

Нагрѣваніе покрытой растительностью мѣстности подъ вліяніемъ лучеиспусканія солнца и отраженіе или лучеиспусканіе отъ подобной мѣстности впродолженіи ночи происходятъ нѣсколько иначе, нежели это наблюдается на пустынныхъ поверхностяхъ безъ растительности. Растительность воспринимаетъ лучи солнца

---

[1]) Уменьшеніе содержанія водяныхъ паровъ съ поднятіемъ на высоту h надъ уровнемъ моря выражается эмпирической формулой Ганна

$$s = s_0 \cdot 10^{-\frac{h}{6500}},$$

гдѣ s — упругость паровъ на высотѣ h надъ уровнемъ моря, а s_0 — упругость паровъ на уровнѣ моря.

помощью безчисленнаго множества листьевъ и вѣтвей, и подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей на всѣхъ этихъ тѣлахъ развивается испареніе, которое поглощаетъ теплоту, и воздухъ становится холоднѣе, нежели въ свободной мѣстности. Ночное же отраженіе или лучеиспусканіе, наоборотъ, происходитъ гораздо медленнѣе, и тѣмъ медленнѣе, чѣмъ большія сопротивленія встрѣчаетъ уходящій болѣе теплый воздухъ при своемъ проходѣ по листьямъ и вѣтвямъ. Всякое выступающее въ атмосферу тѣло, какъ мы это видѣли выше, заставляетъ воздухъ подыматься вверхъ, а слѣд. и охлаждаться, при чемъ это охлажденіе воздуха будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше выступаетъ тѣло. Поэтому если по покрытой растительностью поверхности разливается струя влажнаго воздуха, то только часть ея можетъ проникнуть въ имѣющіеся свободные промежутки; другая-же ея часть будетъ вынуждена подняться вверхъ. Но сама по себѣ разность температуры обусловливается разницей между нагрѣваніемъ и отраженіемъ; поэтому условія для сгущенія водяныхъ паровъ будутъ тѣмъ благопріятнѣе, чѣмъ выше растительность подымается въ атмосферу, какъ это главнымъ образомъ имѣетъ мѣсто для лѣсовъ. Такимъ образомъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, вѣроятность дождя для поверхности, покрытой лѣсомъ или вообще густой растительностью, будетъ гораздо больше, нежели для поверхности пустынной, преимущественно въ теплое время года, когда разность температуры атмосфернаго воздуха и воздуха внутри лѣса достигаетъ своего максимума. Эта разность температуры гораздо значительнѣе на высокихъ горахъ, нежели на равнинахъ; отсюда мы можемъ заключить, что густой лѣсъ на горахъ вызываетъ относительно болѣе значительное количество осадковъ, нежели вызывается лѣсомъ въ равнинѣ.

Всѣ приведенныя здѣсь соображенія вполнѣ подтверждаются наблюденіями. Вмѣстѣ съ тѣмъ имѣется масса наблюденій, показывающихъ, что замѣтное увеличеніе или уменьшеніе количества ежегодныхъ атмосферныхъ осадковъ не имѣетъ никакой связи съ облѣсеніемъ или съ обезлѣсеніемъ данной мѣстности. Въ этомъ отношеніи достойны вниманія новѣйшія изслѣдованія Ганнета, обнимающія собой штатъ-Огіо, область прерій, Іову, сѣверную Миссури, южную Минезоту, большую часть Илинойса, небольшую часть Индіаны, а также и штаты Новой Англіи (всего пространство въ 8000 крадр. англ. миль). Достовѣрность полученныхъ Ганнетомъ результатовъ, впрочемъ, оспаривается многими нѣмецкими учеными.

Количества осадковъ вообще выражаются высотой, а именно высотой слоя воды, который получился-бы, если-бы всѣ выпавшіе на опредѣленную поверхность осадки сохранились и были-бы обращены въ жидкую воду; опредѣляемую такимъ образомъ высоту называютъ также высотой дождя, а приборъ для ея опредѣленія называется дождемѣромъ.

Высоты дождей представляютъ собой числа, полученныя путемъ наблюденій, а слѣд. не могутъ считаться совершенно точными, а только средними числами. Для ближайшаго ознакомленія съ характеромъ каждой данной мѣстности въ отношеніи количества осадковъ могутъ служить отчеты и свѣдѣнія главныхъ физическихъ обсерваторій и центральныхъ метеорологическихъ станцій. Относительно Россіи богатый матеріалъ по этому вопросу содержитъ въ себѣ: Воейковъ, А. И. «Климаты земного шара», (1884) и его-же «Метеорологія» (1891); Вильдъ, Г. «Объ осадкахъ Россійской Имперіи» (1888); Клоссовскій, А. В. «Осадки юго-запада Россіи».

Въ Россіи осадки распредѣлены весьма неравномѣрно. Наибольшее годовое количество осадковъ бываетъ на восточномъ берегу Чернаго моря и на Кавказѣ (болѣе 2000 милиметр.). Самое малое количество осадковъ бываетъ на равнинахъ средней Азіи (менѣе 100 милим. въ годъ) и по восточному побережью Каспійскаго моря (менѣе 200 милим.). Точно также малое количество осадковъ замѣчается на берегахъ и островахъ Ледовитаго океана. Вообще въ Россіи наибольшее количество осадковъ выпадаетъ лѣтомъ; наиболѣе дождливый мѣсяцъ-Іюнь. Впрочемъ, нѣкоторыя, лишь очень немногія, мѣста Россіи имѣютъ больше осадковъ въ холодные

мѣсяцы, нежели въ теплые; къ этимъ мѣстностямъ принадлежатъ: южный берегъ Крыма, восточное Закавказье и большая часть средней Азіи.

Среднее годовое количество осадковъ въ милиметрахъ для нѣкоторыхъ мѣстъ Россіи приведено въ слѣдующей таблицѣ:

С.-Петербургъ . . .	420	Астрахань . . .	120
Варшава	580	Кутаисъ . . .	1420
Кострома	490	Тифлисъ . . .	490
Кіевъ	490	Баку	250
Одесса	360	Екатеринбургъ .	340
Курскъ	430	Тобольскъ . . .	460
Казань	350	Барнаулъ . . .	230

Для Германіи средняя годовая высота дождя составляетъ 710 милиметр. (по новѣйшимъ даннымъ 660 милиметр.).

Высоты осадковъ сѣверной, средней и южной Германіи находятся въ слѣдующемъ соотношеніи между собой:

1 : 1, 13 : 1, 35 (въ круглыхъ числахъ 8 : 9 : 11).

Изъ всего количества осадковъ для каждой данной области зимой выпадаетъ 20% весной 22%, лѣтомъ 33% и осенью 25%; наименьшее количество осадковъ бываетъ въ концѣ зимы, а наибольшее лѣтомъ. На морскомъ берегу время наибольшихъ осадковъ составляетъ исключеніе изъ этого правила: по изложеннымъ выше причинамъ наибольшее количество осадковъ тамъ выпадаетъ осенью.

На высокихъ горахъ и въ гористыхъ мѣстностяхъ количество осадковъ бываетъ гораздо значительнѣе приведенныхъ здѣсь чиселъ, достигая иногда высоты 2 метр., и въ мѣстностяхъ, относительно близкихъ другъ къ другу, они иногда бываютъ весьма различны.

Относительно условій осадковъ на Альпахъ и ихъ склонахъ необходимо здѣсь замѣтить, что наибольшее количество осадковъ здѣсь бываетъ разъ весной (снѣжные обвалы) и другой разъ лѣтомъ (дожди съ грозами); въ среднемъ на сѣверныхъ склонахъ Альповъ господствуютъ лѣтніе дожди, а на южныхъ и западныхъ—осенніе. Частота снѣжныхъ обваловъ лѣтомъ увеличивается весьма быстро съ высотой; вообще-же въ высшихъ областяхъ зимой, весной и осенью снѣгъ (туманъ, иней) представляетъ собой единственный видъ осадковъ. На высотѣ 1500 метр. весьма рѣдко бываетъ безснѣжный мѣсяцъ; но съ другой стороны въ срединѣ лѣта на гребняхъ горъ и въ высокихъ гористыхъ областяхъ иногда выпадаютъ дожди.

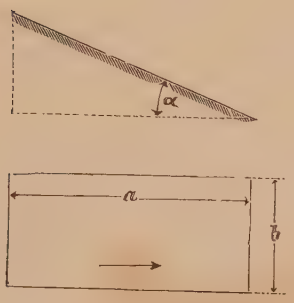
Само собой разумѣется, что приведенныя здѣсь числа представляютъ собой только общій обзоръ; въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ необходимы спеціальныя изслѣдованія. Благодаря постепенному расширенію сѣти метеорологическихъ наблюдательныхъ станцій и тщательной обработкѣ результатовъ наблюденій, въ будущемъ можно ожидать многихъ весьма точныхъ данныхъ объ этомъ предметѣ.

4. Теченіе воды по земной поверхности.

Когда дождь достигаетъ земной поверхности, или когда на ней таютъ замерзшіе гидрометеоры, то вода или движется къ ниже-лежащимъ мѣстамъ подъ вліяніемъ своей тяжести, или-же она въ нагрѣтыхъ мѣстахъ вся или только частью опять обращается въ водяной паръ. Во всякой области осадковъ всѣ воды, открыто протекающія по склонамъ горъ, собираются у подошвъ долинъ, гдѣ онѣ образуютъ ручьи, рѣки, потоки, озера, пруды и проч.; часть воды, однако, направляется въ почву, т. е. просачивается въ нее и, протекая по подземному пути, образуетъ собой такъ называемую грунтовую или подпочвенную воду. Количество проникающей въ почву воды возростаетъ съ увеличеніемъ пористости или скважности почвы и съ увеличеніемъ высоты слоя воды надъ почвой, а также и съ продолжительностью смачиванія поверхности почвы. Уклоны обусловливающіе теченіе воды по направленію долины или русла, а съ другой стороны

болѣе или менѣе шероховатыя поверхности и другія свойства почвы, задерживающія теченіе воды, опредѣляютъ собой скорость теченія, а вмѣстѣ съ ней и продолжительность пребыванія дождевой воды на поверхности почвы, питаемой въ теченіи опредѣленнаго времени (t) постоянными осадками.

Для полученія яснаго представленія о теченіи воды по поверхности почвы и соотвѣтственно просачиванія ея въ почву опредѣлимъ соотношеніе количества воды, остающейся на поверхности земли, а также и количества просачивающейся въ почву при пористой ея поверхности, ко всему количеству протекающей воды, при опредѣленномъ сопротивленіи ея теченію и постоянномъ дождѣ.



Фиг. 3.

Пусть обозначаютъ (фиг. 3):

a длину области осадковъ въ видѣ прямоугольника,

b ширину ея,

α паденіе на единицу длины по направленію a,

h высоту воды на площади ab во время t,

Q количество дождя, падающаго на площадь ab въ одну секунду,

V количество воды, просачивающейся въ почву въ теченіе секунды и отнесенной къ площади ab,

q количество воды, стекающей съ площади въ теченіе секунды.

Пренебрегая испареніемъ и поглощеніемъ воды растительностью, что безъ замѣтной погрѣшности вполнѣ допустимо для случая безпрерывнаго дождя, получаемъ основное соотношеніе

$$1)\quad (Q-V-q)\,dt=ab.dh,$$

которое выражаетъ намъ, что количество воды $ab.\,dh$, накопляющейся на плоскости ab въ элементъ времени, равно количеству выпадающаго въ этотъ элементъ времени дождя $Q.\,dt.$ уменьшенному на количество инфильтраціи $V.dt$ и на количество стекающей воды $q.dt$ Интегрированіе этого уравненіе даетъ:

$$2)\quad t-t_0=\int_{h_0}^{h}\frac{ab.\,dh}{Q-V-q}\ ;$$

интегрированіе можетъ быть исполнено, если величины V и q заданы какъ функціи h, такъ величина Q имѣетъ постоянное значеніе.

Общее уменьшеніе количества воды происходитъ на всей площади ab частью отъ поверхностнаго стока воды и частью отъ инфильтраціи (просачиванія) въ почву. При опредѣленіи количества инфильтраціи V въ секунду необходимо прежде всего имѣть въ виду, что оно возростаетъ съ увеличеніемъ пористости почвы и высоты слоя находящейся надъ плоскостью ab воды [1]). Называя черезъ φ коэффиціентъ скважности, можно написать

$$3)\quad V=\varphi abh.$$

Пусть открытый стокъ воды съ площади ab происходитъ по направленію длины a. Въ этомъ случаѣ площадь поперечнаго сѣченія для прохода поверхностной воды въ каждое данное время будетъ $F=b.\,h$, и такъ какъ высота слоя воды h весьма мала относительно ширины потока b, то можно принять, что средняя гидравлическая глубина будетъ $\frac{F}{p}=\frac{bh}{b+2h}$ $=h$, гдѣ p обозначаетъ мокрый периметръ профиля стока. Допустимъ, что при движеніи воды движущая сила тяжести и сила тренія (R' на единицѣ площади) производятъ одинаковую работу на каждой единицѣ длины; тогда на основаніи гидравлики получаемъ:

$$F\gamma\alpha=R'p,$$

---

[1]) Вольни путемъ опытовъ нашелъ, что вода тѣмъ глубже проникаетъ въ почву, чѣмъ больше количество дождя, но не пропорціонально послѣднему, а при мелкозернистомъ матеріалѣ въ меньшемъ отношеніи; при крупнозернистомъ-же матеріалѣ въ большемъ отношеніи. Наше предположеніе соотвѣтствуетъ такимъ образомъ среднему значенію, которое опредѣлено путемъ опытовъ, какъ это будетъ изложено ниже (см. отд. II).

гдѣ γ означаетъ вѣсъ кубической единицы воды. Такимъ образомъ, принимая во вниманіе приведенное значеніе $\frac{F}{p} = h$, получаемъ

$$R' = \gamma h \alpha.$$

Но съ другой стороны сила тренія пропорціонально степени шероховатости плоскости и скорости v стекающей по ней воды. Если эта скорость весьма мала, какъ въ разсматриваемомъ случаѣ, то можно принять $R' = \gamma k_1 v$ гдѣ k_1 означаетъ эмпирическій коэффиціентъ, зависящій отъ степени шероховатости и т. п. условій. Приравнивая это значеніе R' съ вышенайденнымъ его значеніемъ, получаемъ скорость стекающей съ поверхности воды

$$v = kh\alpha,$$

гдѣ $k = \frac{1}{k_1}$ представляетъ собой новый эмпирическій коэффиціентъ.

Такимъ образомъ количество воды, открыто стекающей съ области осадковъ ab въ секунду будетъ:

$$4)\quad q = F v = k\, b\, h^2 \alpha.$$

Подставивъ затѣмъ полученныя изъ ур. 3) и 4) значенія V и q въ уравн. 2) и предполагая, что осадки начинаются при $t = 0$, такъ что въ этотъ моментъ и $h = 0$, получаемъ

$$dt = -\frac{a}{k\alpha} \cdot \frac{dh}{h^2 + m\,h - n'}$$

гдѣ $m = \frac{\varphi a}{k\alpha}$ и $n = \frac{Q}{kb\alpha}$.

Разлагая дроби и производя интегрированіе съ подстановкой предѣловъ, получаемъ:

$$t = -\frac{a}{k\alpha} \int_0^h \frac{dh}{h^2 + m\,h - n} = \frac{a}{k\alpha \sqrt{m^2 + 4\,n}} \text{ log. nat } \frac{2\,n + h\,(\sqrt{m^2 + 4\,n} - m)}{2n - h\,(\sqrt{m^2 + 4\,n} + m)}.$$

Вводя первоначальныя соотношенія, получаемъ

$$5)\quad h = \frac{2\,Q}{\varphi a b + \sqrt{\varphi^2 a^2 b^2 + 4\,kQb\alpha}} \left\{ \frac{1 + l^{\,t\sqrt{\varphi^2 + \frac{4\,kQ\alpha}{a^2 b}}}}{-1 + l^{\,t\sqrt{\varphi^2 + \frac{4\,kQ\alpha}{a^2 b}}}} \right\}^{1}).$$

При первомъ взглядѣ на эту формулу она кажется весьма сложной; на самомъ же дѣлѣ она допускаетъ весьма простое опредѣленіе дѣйствительно существующихъ соотношеній.

Раньше всего по прошествіи умѣренно значительнаго промежутка времени t величина, стоящая въ знаменателѣ уравненія 5) въ скобкахъ, принимаетъ значеніе, приблизительно $= 1$ Для того, чтобы убѣдиться въ этомъ, подставимъ какое-нибудь численное значеніе φ; примемъ напр., $\varphi = 0{,}01$; тогда при всѣхъ обстоятельствахъ имѣемъ

$$e^{\,t\sqrt{\varphi^2 + \frac{4\,kQ\alpha}{a^2 b}}} > e^{\varphi t} > e^{0{,}01\,.\,t}.$$

Но уже по прошествіи 10 минутъ съ начала образованія осадковъ (т. е. при $t = 600$) получаемъ $e^{0{,}01.600} = 403{,}43$ и значеніе стоящаго въ знаменателѣ уравненія 5) въ скобкахъ выраженія будетъ меньше 1,0049; для болѣе значительной величины t это значеніе никогда не можетъ быть меньше 1. Такимъ образомъ для принятаго нами періода времени, обнимающаго первыя 10 минутъ съ начала образованія осадковъ, величина въ скобкахъ будетъ имѣть значеніе между 1,0049 и 1, такъ что мы сравнительно весьма мало уклонимся отъ дѣйствительности, принимая для болѣе продолжительныхъ осадковъ

$$5\,a)\quad h = \frac{2\,Q}{\varphi a b} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{1 + \frac{4\,kQ\alpha}{\varphi^2 a^2 b}}}.$$

Такимъ образомъ теорія приводитъ насъ къ тому заключенію, что въ проницаемой почвѣ при безпрерывномъ дождѣ почти тотчасъ-же наступаетъ состояніе неизмѣняемости высоты воды надъ поверхностью почвы, при чемъ какъ количество проникающей въ почву

---

[1]) Вмѣсто стоящаго въ скобкахъ множителя знаменателя можно подставить

$$\text{Cotg. hyperb. } \left(\frac{t}{2}\sqrt{\varphi^2 + \frac{4\,kQ\alpha}{a^2 b}}\right).$$

воды, такъ и количество стекающей воды принимаютъ приблизительно постоянныя значенія, которыя могутъ быть всегда опредѣлены по уравненіямъ 3) и 4) по извѣстному данному значенію h.

Если вмѣсто количества осадковъ, падающихъ на поверхность ab, введемъ въ уравненія 5) и 5a) количество осадковъ, приходящееся на единицу площади, т. е. $M = \frac{Q}{ab}$, то уравненія 5) и 5a) преобразуются въ слѣдующія:

$$6)\quad h = \frac{2M}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 + \frac{4kM\alpha}{a}} \cdot \left\{ \frac{e^{t\sqrt{\varphi^2 + \frac{4kM\alpha}{a}}} + 1}{e^{t\sqrt{\varphi^2 + \frac{4kM\alpha}{a}}} - 1} \right\}} - \frac{}{};$$

$$6a)\quad h = \frac{2M}{\varphi} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{1 + \frac{4kM\alpha}{\varphi^2 a}}};$$

изъ послѣдняго ур. мы видимъ, что при очень большомъ протяженіи a области осадковъ или также при небольшомъ значеніи величины α величина h приближается къ предѣльному своему значенію $h = \frac{M}{\varphi}$, откуда, соотвѣтственно ур. 3), слѣдуетъ, что

$$V = \varphi\, a\, b\, h = M\, a\, b = Q.$$

Такимъ образомъ въ случаѣ плоской, обширной области осадковъ съ водопроницаемой почвой всѣ осадки (въ видѣ дождей) будутъ просачиваться въ почву. Во всякомъ случаѣ при пористой или рыхлой почвѣ, и пока значеніе величины $\frac{4kM\alpha}{\varphi a}$ невелико, большая, по крайней мѣрѣ, часть падающихъ осадковъ просачивается въ почву.

Если, наоборотъ, значеніе φ все больше и больше приближается къ нулю, то количество воды, стекающей по наружной поверхности, увеличится на счетъ просачивающейся. При $\varphi = 0$ поверхность становится непроницаемой; инфильтрація совершенно прекращается, и изъ ур. 6) получаемъ

$$7)\quad h = \sqrt{\frac{M\alpha}{k\alpha}} \cdot \frac{e^{t\sqrt{\frac{4kM\alpha}{a}}} - 1}{e^{t\sqrt{\frac{4kM\alpha}{a}}} + 1},$$

которое и есть предѣльное значеніе для $v = 0$.

Если дождь по истеченіи времени t, сразу прекратится, то для проницаемой почвы изъ ур. 5) и соотвѣтственно изъ ур. 6) получается значеніе h_1, толщины слоя воды, въ этотъ моментъ находящейся надъ поверхностью. Теперь можетъ явиться вопросъ, сколько времени пройдетъ до тѣхъ поръ, пока эта высота слоя воды уменьшится до высоты h'; отвѣтъ на этотъ вопросъ дается уравненіемъ 2), въ которомъ принимается $Q = 0$.

Разсматривая теперь продолжительность періода времени, $T = t' - t_1$, гдѣ t' означаетъ время, протекшее съ начала дождя до того момента, когда (вслѣдствіе прекращенія дождя) высота слоя воды достигла величины h', а t_1 означаетъ время, соотвѣтствующее высотѣ h_1, получаемъ изъ ур. 2) при $Q = 0$

$$T = t' - t_1 = \int_{h_1}^{h'} \frac{a\,b.\,dh}{-V - q} = \int_{h'}^{h_1} \frac{a\,b.\,dh}{V + q},$$

и помощью ур. 3) и 4) отсюда получаемъ

$$8)\quad T = \int_{h'}^{h_1} \frac{a\,b.\,dh}{\varphi\, a\, b\, h + k\, b\, h^2 \alpha} = \frac{1}{\varphi} \log.\,\mathrm{nat}\left[\frac{h'\,h_1 + h_1\,m}{h'\,h_1 + h\,m}\right],$$

гдѣ, какъ и выше, для сокращенія принято $m = \frac{\varphi\, a}{k\, \alpha}$.

Для водонепроницаемой почвы при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ изъ ур. 8) при $\varphi = 0$ получаемъ

$$9).\ T = \frac{a}{k\alpha}\int_{h'}^{h_1}\frac{dh}{h^2} = \frac{a\,(h_1 - h')}{k\,\alpha\,h'\,h_1}\ .$$

Оба эти уравненія ясно показываютъ, что для полнаго исчезанія смачиванія поверхности требуется безконечно длинный промежутокъ времени. Наоборотъ, время, потребное для уменьшенія высоты слоя воды въ извѣстныхъ предѣлахъ, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, весьма различно для проницаемой и непроницаемой почвы, какъ это показываютъ приведенныя формулы. Примемъ, напр., $k = 100$, $a = 1000$, $\alpha = 0{,}05$, $\varphi = 0{,}010$, и опредѣлимъ время, потребное для уменьшенія высоты слоя воды отъ 0,010 метр. до 0,001 метр. Для такой проницаемой почвы по ур. 8) получаемъ

$$T = 100.\ \log.\ \text{nat}\left[\frac{0{,}01.\,0{,}001 - 2.0{,}010}{0{,}01.\,0{,}001 - 2.0{,}001}\right] = 230 \text{ секундъ} = 4 \text{ минут.};$$

для непроницаемой почвы по ур. 9) получаемъ

$$T = 200\,\frac{0{,}010 - 0{,}001}{0{,}01.0{,}001} = 180000 \text{ секундъ} = 50 \text{ часовъ}.$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что продолжительность смачиванія на непроницаемой почвѣ почти въ 800 разъ больше, нежели на водопроницаемой почвѣ предположеннаго нами свойства, если при этомъ принять, что послѣдній милиметръ воды исчезаетъ путемъ испаренія. Вообще замѣчается сравнительно весьма быстрое просачиваніе накопляющейся на проницаемой почвѣ воды.

Такъ какъ стокъ воды съ непроницаемой почвы послѣ прекращенія дождя происходитъ весьма медленно, то верхній покровъ почвы долго еще остается мокрымъ послѣ прекращенія дождя, въ противоположность водопроницаемой подпочвѣ, въ которую послѣ дождя вся вода быстро всасывается, и верхній покровъ которой по истеченіи короткаго времени поэтому высыхаетъ.

И здѣсь существуетъ постепенный переходъ отъ одного состоянія въ другое, который можетъ быть вычисленъ по приведеннымъ формуламъ для всякаго даннаго случая.

Вышеприведенныя соображенія приводятъ насъ къ тому заключенію, что пока мы имѣемъ дѣло съ плоской поверхностью однороднаго свойства, можно путемъ вычисленій при данной силѣ дождя опредѣлить количество воды, просачивающейся черезъ эту поверхность, т. е. притокъ къ находящейся подъ почвой грунтовой водѣ. Для этого опредѣленія прежде всего необходимо знать коэффиціентъ пористости или скважности почвы φ, величину котораго можно опредѣлить только опытнымъ путемъ посредствомъ ряда наблюденій. Вычисленіе въ общемъ даетъ точное и ясное направленіе нашимъ идеальнымъ соображеніямъ; но въ природѣ эти условія и соотношенія рѣдко бываютъ такъ просты, чтобы безъ дальнѣйшихъ разсужденій можно было-бы примѣнять въ практикѣ приведенныя вычисленія и теоретическія соображенія.

Прежде всего необходимо принять въ соображеніе, что при предыдущихъ разсужденіяхъ мы предположили равномѣрно продолжительный дождь и пренебрегли происходящимъ въ это время испареніемъ и поглощеніемъ воды растительностью. Такое предположеніе не вполнѣ согласуется съ дѣйствительностью. Если мы интенсивность дождя будемъ наносить, какъ ординаты, а время—какъ абсциссы кривой, то начало и конецъ этой кривой должны находиться въ такихъ точкахъ, для которыхъ ординаты равны нулю; между этими крайними точками кривая можетъ имѣть произвольныя направленія, выражаемыя положительными ординатами. Поэтому предположеніе о равномѣрномъ распредѣленіи осадковъ въ теченіе всей продолжительности дождя представляетъ собой только нѣкоторое приближеніе къ истинѣ. Послѣ прекращенія дождя, какъ мы предположили въ

концѣ вышеприведенныхъ разсужденій, нельзя уже пренебрегать испареніемъ и поглощеніемъ воды растительностью; но съ другой стороны мы не имѣемъ исходныхъ точекъ для теоретическаго разсмотрѣнія этихъ вліяній.

Затѣмъ значеніе коэффиціента скважности φ не остается постояннымъ въ теченіи всей продолжительности дождя при всѣхъ обстоятельствахъ, какъ мы это приняли въ предыдущихъ теоретическихъ разсужденіяхъ. Подобное предположеніе было-бы справедливо для того случая, если-бы дождь падалъ на поверхность, состоящую изъ однороднаго песку или гальки, и почва втеченіи всей продолжительности дождя оставалась одинаково проницаемой. На самомъ-же дѣлѣ обстоятельства никогда такъ не совпадаютъ. Обыкновенно поверхность почвы покрыта различными растеніями; подъ вліяніемъ дождя она, въ зависимости отъ содержанія коллоидальныхъ (студенистыхъ) веществъ, измѣняется иногда такъ, что поры совершенно закупориваются и не допускаютъ просачиванія воды въ почву.

Кромѣ того мы не могли ввести въ наши вычисленія такой важный факторъ, какъ температуру воздуха и почвы. Если дождь падаетъ на мерзлую почву, снѣгъ и проч., то никакое количество воды сперва не будетъ проникать въ почву до тѣхъ поръ, пока послѣдняя не оттаетъ, или соотвѣтственно пока не растаетъ покрывающій ее снѣгъ. Пока не наступитъ то или другое, до тѣхъ поръ почва должна быть разсматриваема, какъ непроницаемая. Но даже и при этихъ предположеніяхъ наши разсчеты не будутъ согласны съ дѣйствительностью, такъ какъ мы теперь не можемъ принять, что стокъ происходитъ согласно сдѣланному нами предположенію; въ этомъ случаѣ часть воды, находящейся надъ мерзлой почвой, замерзнетъ, точно также какъ и часть стекающей воды; эти обстоятельства не могутъ быть изучены теоретически.

Короче сказать, наши вычисленія примѣнимы только для случая равномѣрныхъ продолжительныхъ осадковъ; во всѣхъ-же другихъ случаяхъ они должны идти рука объ руку со многими другими соображеніями, которыя не могутъ быть выражены теоретически.

Испареніе и поглощеніе воды растеніями мы разсматривали въ одной изъ предыдущихъ главъ Но вліяніе растительныхъ культуръ на количество попадающаго на почву дождя весьма важно еще и въ другомъ отношеніи. Кратковременные дожди, падающіе, напр., на покрытую лѣсомъ мѣстность, весьма мало попадаютъ непосредственно на почву; весьма значительная часть воды остается висящей на верхушкахъ деревьевъ. При болѣе продолжительныхъ дождяхъ количество воды, остающейся на верхушкахъ деревьевъ, правда, незначительно въ сравненіи со всѣмъ количествомъ выпавшей воды; но для предыдущаго нашего предположенія, наоборотъ, условія попаданія воды на почву и проникапія въ нее совершенно измѣняются. Въ этомъ случаѣ не можетъ быть и рѣчи о равномѣрномъ осажденіи воды. Стекая съ верхушекъ деревьевъ на стебли и проходя черезъ промежутки лѣса, вода неравномѣрно падаетъ на покрытую богатой растительностью лѣсную почву.

Для разъясненія этихъ обстоятельствъ приводимъ здѣсь наблюденія Секкендорфа, сдѣланныя имъ въ покрытомъ листьями лѣсу во время повсемѣстнаго дождя, длившагося съ утра 12 Іюня до ночи 14 Іюня. Общая высота выпавшихъ за это время осадковъ составляла 52,6 милиметр.

Родъ деревьевъ.	Выпало дождя на крону по вычисленію. литр.	Изъ этого числа по омброметрическому измѣренію попало на почву. литр.	Отводилось по стеблямъ деревьевъ. литр.	Въ общемъ достигало почвы. литр.	Потеряно отъ испаренія. литр.	Изъ попавшей на крону воды достигало почвы въ %	
						съ добавленіемъ отведенной по стеблямъ	безъ добавленія отведенной по стеблямъ.
Букъ	3406	1839	260	2099	1307	54,0	6,16
Береза	3170	1983	200	2183	987	62,5	68,9
Кленъ	4819	3142	200	3342	1477	65,2	69,4
Пихта	1573	481	16	497	1076	30,6	31,6

Родъ растительности въ связи со свойствами подпочвы обусловливаетъ собой ту часть всего количества воды, которая можетъ стекать по поверхности почвы, т. е. которая можетъ достигнуть открытыхъ водяныхъ потоковъ. Если лѣсная почва покрыта плотнымъ моховымъ покровомъ, то задерживаемое послѣднимъ количество воды можетъ соотвѣтствовать весьма значительной высотѣ водяного слоя; подобное-же дѣйствіе оказываетъ подстилка изъ листьевъ, и въ такомъ порядкѣ послѣдовательности: листья краснаго бука, березовые листья, листья бѣлаго бука, липовые листья, иглы лиственницы, сосны и проч.; эта подстилка тоже задерживаетъ значительное количество воды, тѣмъ большее, чѣмъ толще слой подстилки.

По изслѣдованіямъ Гервига количество воды, задерживаемой на 1 кв. метрѣ мохового дерна, въ среднемъ соотвѣтствуетъ высотѣ водяного столба въ 4,5 милиметр.; при этомъ онъ принимаетъ, что на горахъ, гдѣ моховая подстилка часто достигаетъ толщины въ 300 милим., поверхность мховъ задерживаетъ еще болѣе значительныя количества воды, соотвѣтствующія высотѣ водяного слоя въ 10 милим. и болѣе. Секкендорфъ при своихъ изслѣдованіяхъ нашелъ на 1 квадр. метрѣ дерна изъ сфагнума 14 литровъ воды, т. е. толщину слоя воды въ 14 милиметр. при толщинѣ слоя дерна только въ 90 милим. За мхомъ слѣдуетъ подстилка изъ листьевъ, которая обладаетъ наибольшею всасывающей способностью, измѣняясь въ вѣсѣ среднимъ числомъ на 200—250% противъ своего вѣса въ сухомъ состояніи, т. е. каждые 100 килогр. лиственной подстилки могутъ задержать 200—250 килогр. воды. Нѣсколько меньшей всасывающей способностью обладаютъ березовые листья, увеличиваясь въ вѣсѣ на 120—180% противъ своего вѣса въ сухомъ состояніи, и это увеличеніе возростаетъ по мѣрѣ истлѣванія листьевъ. Приблизительно такою-же всасывающей способностью обладаютъ и листья бѣлаго бука. Еще меньшія количества воды задерживаются хвойной подстилкой, всасывающая способность которой колеблется между 100 и 160% противъ вѣса подстилки въ сухомъ состояніи. для подстилки изъ сосновой хвои количество впитываемой воды колеблется между 110 и 140% Затѣмъ слѣдуетъ хвойная подстилка отъ лиственницы, всасывающая способность которой колеблется между 110 и 130% и одинакова со всасывающей способностью подстилки изъ еловой хвои. Въ состояніи сильнаго истлѣванія лиственная и хвойная подстилка можетъ принять форму совершенно непроницаемой для воды массы.

Если въ лѣсу имѣется кустарникъ, поросль, трава и проч., то и на нихъ остается висѣть весьма замѣтное количество воды. Только послѣ наполненія этихъ резервуаровъ начинается поверхностный стокъ воды, между тѣмъ какъ инфильтрація въ почву началась уже раньше. Количество воды, просачивающейся въ почву, обусловливается паденіемъ и свойствомъ поверхности почвы, а также и величиной капиллярныхъ и некапиллярныхъ промежутковъ въ самой структурѣ почвы; кромѣ того на величину просачивающейся воды вліяетъ раствореніе

почвы или образованіе коллоидальныхъ веществъ во время дождя, такъ какъ эти вещества преграждаютъ проходъ водѣ.

Всѣ произведенныя изслѣдованія показали, что лѣсъ несомнѣнно служитъ для скопленія весьма значительной части каждаго дождя. Если продолжительность дождя такова, что наступило насыщеніе водой, то тѣ препятствія, которыя являются для поверхностнаго стока воды отъ покрововъ лѣсной почвы, служатъ въ пользу инфильтраціи, такъ какъ послѣдняя въ этомъ случаѣ происходитъ подъ болѣе сильнымъ напоромъ. Такимъ образомъ лѣсъ благопріятствуетъ питанію подпочвы путемъ инфильтраціи.

Слѣдующее за лѣсомъ мѣсто занимаютъ луга, дерновая покрышка которыхъ, подобно низкой лѣсной растительности, всасываетъ въ себя значительныя количества воды и этимъ затрудняетъ поверхностный стокъ ея. Затѣмъ слѣдуютъ густо-растущія кормовыя травы, зерновые хлѣба, сады, виноградники и проч. и проч.

При многихъ растительныхъ культурахъ инфильтрація въ почву искусственно усиливается вспахиваніемъ, вскапываніемъ, окапываніемъ и проч., что въ свою очередь вліяетъ на поверхностный стокъ подобно густой растительности.

Температура воздуха и почвы также вліяетъ, какъ на испареніе, такъ и на просачиваніе. Что касается температуры воздуха, то само-собой разумѣется, что испареніе бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ ниже температура воздуха, и обратно. По наблюденіямъ Wollny количества просачивающейся въ почву воды увеличиваются съ уменьшеніемъ испаренія, т. е. съ пониженіемъ температуры воздуха. Легко понять, что это справедливо только до точки замерзанія; если температура почвы понизилась до точки замерзанія, или если ея температура уже до дождя была ниже 0°C, то никакой инфильтраціи произойти не можетъ, или-же произойдетъ инфильтрація весьма незначительная и только временная. При высокой температурѣ въ промежутокъ времени между двумя послѣдовательными дождями, если этотъ промежутокъ достаточно великъ, верхніе слои почвы, независимо отъ находящейся на нихъ растительности, высыхаютъ, и тогда они отъ падающаго дождя поглощаютъ въ себѣ значительное количество воды, которую они удерживаютъ въ себѣ въ теченіи всей продолжительности дождя, и которая впослѣдствіи опять теряется черезъ испареніе. Всѣ эти условія измѣняются соотвѣтственно временамъ года; они настолько усложняютъ задачу по изслѣдованію сохраненія осадковъ, что сравненіе между количествомъ осадковъ, инфильтраціей въ почву и прибылью воды въ водоемахъ можетъ быть сдѣлано только послѣ продолжительныхъ безпрерывныхъ дождей. Небольшое, напр., количество осадковъ, выпавшихъ въ холодное время года, можетъ благопріятствовать инфильтраціи въ почву въ болѣе значительной степени, нежели болѣе продолжительный лѣтній дождь, падающій на высохшую почву, и т. д.

Если наружная температура понижается ниже точки замерзанія, то дождь превращается въ снѣгъ, и мы встрѣчаемся съ совершенно измѣнившимися условіями. До начала процесса поверхностнаго стеканія и инфильтраціи въ почву снѣгъ долженъ сперва перейти въ воду; до этого-же перехода снѣгъ представляетъ собой ничто иное, какъ скопленіе замерзшей воды надъ разсматриваемой нами поверхностью.

Подобные снѣжные покровы имѣютъ значеніе для инфильтраціи въ почву преимущественно тогда, когда во время паденія снѣга почва была еще не мерзлая. Снѣгъ, какъ дурной проводникъ тепла, защищаетъ почву отъ охлажденія все время, въ теченіи котораго температура воздуха и верхней поверхности снѣжнаго покрова бываетъ ниже 0°C. Это вліяніе снѣжнаго покрова при одинаковой

толщинѣ слоевъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ рыхлѣе бываетъ снѣгъ; оно весьма незамѣтно для пропитаннаго водой плотно слежавшагося снѣга. Согрѣвающее дѣйствіе снѣжнаго покрова гораздо значительнѣе охлаждающаго его дѣйствія, и оно тѣмъ больше, чѣмъ дольше снѣжный покровъ остается при температурѣ ниже 0°С, такъ что при снѣжномъ покровѣ толщиной въ 50 сантим. и при продолжительности свыше 6 мѣсяцевъ, температура почвы на глубинѣ 1 метра въ теченіи самаго холоднаго м-ца будетъ вѣроятно не ниже средней годовой температуры на поверхности материка и въ нижнихъ слояхъ воздуха. Когда начинается таяніе подобнаго снѣга, почва будетъ открыта, т. е. пористая почва будетъ поглощать въ себѣ большое количество воды, такъ что въ открытые водяные потоки будетъ попадать тѣмъ меньшее количество воды, чѣмъ медленнѣе происходитъ таяніе снѣга.

Вообще *снѣгъ и ледъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда происходитъ медленное ихъ таяніе*, доставляютъ для инфильтраціи наибольшее количество воды, а для поверхностныхъ потоковъ наименьшее; такимъ образомъ въ тѣхъ случаяхъ, когда происходитъ постоянное таяніе льда и снѣга, и большая часть осадковъ состоитъ изъ снѣга получается наибольшая инфильтрація, если только она допускается свойствами подпочвы. Примѣры подобнаго случая мы видимъ на известняковыхъ Альпахъ. Таящіе въ теченіе весны, лѣта и осени снѣжные покровы Альпійскихъ горъ просачиваются въ разсѣлины, трещины и щели известняка, и поэтому эти горы даютъ наиболѣе мощные ключи.

Если-же снѣгъ падаетъ на водонепроницаемый подстилающій слой, то онъ сперва, пока температура остается ниже 0°С, будетъ постепенно накопляться, а затѣмъ при началѣ таянія онъ не будетъ въ состояніи просачиваться въ почву. Въ подобномъ случаѣ или весь продуктъ таянія снѣговъ протекаетъ въ открытые водяные потоки, или-же происходитъ измѣненіе структуры снѣга, какъ въ глетчерахъ. Послѣднему обстоятельству благопріятствуетъ вторичное замерзаніе части воды надъ тающимъ снѣгомъ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что послѣ превращенія снѣга въ воду первый разсмотрѣнный нами случай вполнѣ соотвѣтствуетъ нашимъ вышеприведеннымъ теоретическимъ предположеніямъ, между тѣмъ какъ таяніе глетчеровъ представляетъ собой явленіе, отличающееся отъ предыдущаго и не поддающееся теоретическому изслѣдованію.

Предполагаемыя условія для образованія глетчеровъ, а именно необходимое вторичное замерзаніе воды, образовавшейся отъ таянія снѣга, преимущественно встрѣчаются тамъ, гдѣ въ высокихъ областяхъ гора имѣетъ мульдообразную форму. Въ этихъ областяхъ почти ежедневно въ теченіи нѣсколькихъ часовъ температура бываетъ ниже 0°С, между тѣмъ какъ при высокомъ стояніи солнца температура повышается выше нуля, и происходитъ таяніе снѣга. Накопленный въ мульдѣ снѣгъ вслѣдствіе перемѣннаго таянія и замерзанія превращается въ такъ называемый фирнъ или фирновый ледъ (т. е. зернистый ледъ), и постоянно увеличивающіяся фирновыя зерна постепенно сплачиваются въ глетчеры. Глетчерная масса, составленная изъ фирновыхъ зеренъ, обладаетъ скрытой пластичностью, вслѣдствіе которой она можетъ совершать нѣкоторыя движенія, какъ всякая тягучая липкая жидкость. Вслѣдствіе различной ширины постели глетчера въ самой его массѣ по различнымъ направленіямъ являются различныя препятствія къ его движенію, обрывы, и проч., а также и щели, трещины и каналы;

по послѣднимъ стекаетъ образовавшаяся при таяніи вода, которая у подошвы глетчера соединяется съ постоянно тающими тамъ ледниковыми или глетчерными рѣками. Получаемыя такимъ образомъ количества воды весьма значительны и соотвѣтствуютъ ежегодному снашиванію глетчера на 3 метра или болѣе. Само собой разумѣется, что таяніе глетчеровъ происходитъ въ самое теплое время года, т. е. глубокимъ лѣтомъ. Питаемые глетчерами водяные потоки, ключи и проч. имѣютъ въ это время наивысшій уровень воды, который совпадаетъ съ наинизшимъ уровнемъ расположенныхъ въ низменныхъ мѣстахъ водоемовъ, питаемыхъ дождями. Для гидрографіи данной мѣстности глетчеръ имѣетъ весьма важное значеніе.

5. Общій обзоръ теченія инфильтраціи въ почвѣ.

Способность различныхъ горныхъ породъ свободно пропускать книзу или профильтровывать воду сквозь свои поры сама по себѣ вообще чрезвычайно мала и весьма различна для различныхъ породъ. При небольшой высотѣ напора она для глины, стекловидныхъ минераловъ и т. п. приблизительно равна нулю; она весьма мала для гранитовъ, гнейса, сіэнита, порфира и т. под., и уже довольно замѣтна для флецовыхъ породъ, нѣкоторыхъ родовъ базальтовъ и известняковъ. Подтвержденіемъ весьма незначительной способности многихъ каменныхъ породъ пропускать воду черезъ свои поры можетъ служить тотъ фактъ, что въ водоемахъ, образованныхъ соотвѣтственнымъ выдалбливаніемъ сплошныхъ скалъ, вода совершенно не убываетъ или убываетъ весьма мало и только путемъ испаренія. Если-бы земная поверхность состояла изъ однородныхъ связанныхъ между собой каменныхъ породъ, то, вѣроятно, въ почву путемъ просачиванія поступало-бы весьма небольшое количество воды.

Въ дѣйствительности-же массы горныхъ породъ въ подобномъ состояніи на большихъ протяженіяхъ встрѣчаются весьма рѣдко, только въ видѣ исключеній; большею-же частью горныя породы встрѣчаются раздробленными на болѣе или менѣе крупные куски или глыбы, или-же онѣ содержатъ щели, трещины и пустыя пространства, находящіяся внутри породъ и простирающіяся до поверхности земли. Въ видѣ исключеній встрѣчаются пласты, представляющіе изъ себя компактную массу на значительномъ протяженіи, или въ которыхъ щели и трещины наполнены глинистыми прослойками или другими минеральными веществами, связывающими породу въ одну непрерывную сплошную массу; подобные пласты обладаютъ всѣми свойствами плотныхъ, компактныхъ горныхъ породъ и развиваютъ такія значительныя сопротивленія проникаію въ нихъ воды, а главнымъ образомъ протеканію ея, что они обыкновенно носятъ названіе водонепроницаемыхъ или водоудерживающихъ пластовъ.

По простирающимся до поверхности земли щелямъ и трещинамъ, а преимущественно по пустотамъ между обломками породы и въ самой породѣ, попадающая на поверхность земли вода направляется въ глубину почвы. Разрушеніе породы всегда достигаетъ своего максимума на поверхности земли; находящіеся здѣсь раздробленные и истертые обломки какой-нибудь плотной породы, какъ мы это увидимъ ниже (см. отд. IV, гл. 20), даютъ проходъ водѣ и вообще образуютъ собой почвенный покровъ для расположенныхъ подъ

ними скалистыхъ массъ. Въ исключительныхъ случаяхъ обнаженныя скалы выступаютъ на дневную поверхность, и тогда просачиваніе дождевой воды въ трещины и щели породы дѣлается наиболѣе вѣроятнымъ; съ болѣе значительными препятствіями, а потому и въ значительно меньшихъ количествахъ, въ промежутки подземныхъ каменныхъ массъ попадаютъ гидрометеоры, просачивающіеся черезъ почвенный покровъ.

Количество просачивающейся воды относительно всего количества падающихъ на поверхность почвы осадковъ зависитъ отъ различныхъ факторовъ, преимущественно отъ водоемкости почвы, отъ соотношенія между капиллярными и некапиллярными промежутками въ почвѣ, отъ количества коллоидальныхъ веществъ въ почвѣ, цвѣта, структуры и расположенія или напластованія частицъ почвы, отъ растительныхъ культуръ на поверхности, отъ наружной и внутренней температуры, а также и отъ положенія мѣстности относительно частей горизонта.

Подъ названіемъ водоемкости разумѣютъ свойство почвы (съ волосными только скважинами) принимать и задерживать извѣстное количество жидкой воды. Всякая почва удерживаетъ часть притекающей къ ней въ избыткѣ воды; эта часть воды, при всѣхъ обстоятельствахъ удерживаемая почвой, служитъ мѣрой абсолютной или наименьшей водоемкости. Наибольшая или полная водоемкость опредѣляется тѣмъ количествомъ воды, которая заполняетъ всѣ волосныя скважины извѣстнаго объема почвы. Согласно этому опредѣленію, послѣдняя, т. е. полная водоемкость, равна объему поръ; если g обозначаетъ вѣсъ 1 кубич. метра почвы въ килограммахъ, γ—удѣльный вѣсъ элемента почвы, то наибольшая водоемкость, выраженная въ процентахъ объема, будетъ

$$K = 100\left(1 - \frac{g}{\gamma}\right).$$

Такъ, напр., удѣльный вѣсъ кварца $\gamma = 2690$, а кварцеваго песку $g = 1461{,}9$; отсюда величина $K = 45{,}66$ процент. объема. Ниже будутъ проведены значенія K, т. е. количества воды, задерживаемой 1 кубич. метромъ почвы, для нѣкоторыхъ опредѣленныхъ видовъ почвы.

Чѣмъ больше въ почвѣ содержится неволосныхъ скважинъ, тѣмъ легче атмосферная вода будетъ проникать въ почву, и обратно. Вообще-же для проникапія или просачиванія воды остается въ силѣ общій законъ всѣхъ движеній грунтовыхъ водъ, а именно: количество воды, просачивающейся въ данное время при данной поверхности инфильтраціи, уменьшается съ уменьшеніемъ величины частицъ или зернъ почвы. Кромѣ того на скорость, съ которою происходитъ просачиваніе, вліяютъ не одни только зерна почвы, но также и количество содержащихся въ почвѣ коллоидальныхъ веществъ. На этомъ основаніи дождевая вода легче просачиваетя въ песокъ, нежели въ почву, богатую глинистыми или смолистыми частицами. На глубину промачиванія или пропитыванія замѣтно вліяетъ скважность почвы (см. отд. IV, гл. 5), причемъ глубже лежащіе слои почвы поглощаютъ воду изъ верхнихъ уже пропитанныхъ ею слоевъ. Распредѣленіе воды въ массѣ почвы, въ зависимости отъ физическихъ свойствъ послѣдней, бываетъ весьма различно. Въ мелко-зернистыхъ богатыхъ глинистыми или перегнойными частицами почвахъ верхнія части, находящіяся въ разрыхленномъ состояніи, вслѣдствіе встрѣчаемаго водой сопротивленія при своемъ движеніи, во время осадковъ бываютъ влажнѣе нижнихъ. Послѣ прекращенія притока вода медленно просачивается, большей частью путемъ волосности, и тотчасъ-же послѣ прекращенія движенія воды нижніе слои почвы бываютъ пропитаны сильнѣе верхнихъ; но эта разница сравнительно невелика, такъ что влажность кажется равномѣрною. Подобное-же явленіе имѣетъ мѣсто въ скученной почвѣ съ мелкими скважинами, съ той-лишь разницей, что въ нее вода проникаетъ быстрѣе. Крупно-зернистая почва, наоборотъ, не только допускаетъ болѣе быстрое просачиваніе воды, но вслѣдствіе меньшей своей водоемкости поглощаетъ весьма немного воды изъ верхнихъ слоевъ и насыщается только въ нижнихъ слояхъ. Если дождь падаетъ на влажную уже почву, то въ песчаную почву вода проникаетъ глубже, нежели въ мелкозернистую, глинистую и перегнойную почву, и вообще глубже, нежели въ сухую почву при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ не требуется работы смачиванія частицъ почвы, пропитыванія коллоидальныхъ веществъ и заполненія мелкихъ волосныхъ скважинъ, какъ это необходимо при паденіи дождя на сухую почву. При этомъ выпадающая вода дѣйствительно просачивается, или-же она содѣйствуетъ проникапію уже находящихся въ почвѣ частицъ воды. Первое явленіе преимущественно происходитъ въ тѣхъ почвахъ, которыя, какъ, напр., пе-

сокъ, хорошо пропускаютъ воду, и болѣе или менѣе далеки отъ состоянія насыщенія. Второе явленіе преимущественно происходитъ въ тѣхъ случаяхъ, въ которыхъ почва представляетъ болѣе значительныя сопротивленія движенію воды и во время притока поглощаетъ въ себя большія количества ея. Мерзлая почва для жидкой воды должна считаться совершенно непроницаемой.

По наблюденіямъ Вольни, ярко окрашенная почва поглощаетъ въ себя больше влажности, нежели почва съ темнымъ окрашиваніемъ. Изъ того-же количества осадковъ въ ярко-окрашенную почву проникаетъ болѣе значительная часть, нежели въ почву съ темной окраской; точно также испареніе воды съ поверхности почвы съ темной окраской больше, нежели съ ярко-окрашенной поверхности почвы (см. выше).

Структура почвы имѣетъ весьма большое вліяніе на количество проникающей въ нее воды. Прежде всего количества проникающей воды для рыхлыхъ, крупчатыхъ, или разсыпчатыхъ почвъ гораздо больше, нежели для почвъ порошкообразныхъ; точно также для одной и той-же почвы оно будетъ больше при рыхломъ ея состояніи, нежели при плотномъ. Попадающіеся въ почвѣ камни увеличиваютъ количества просачивающейся воды только до извѣстнаго предѣла содержанія (въ ней камней около 20—30% всего объема почвы); при превышеніи этого предѣла количества просачивающейся воды опять уменьшаются. Проницаемость почвы отъ растительности и покрыванія различными покровами (навозомъ, соломенной настилкой и проч.) не увеличивается, а только лучше поддерживается ими, какъ мы это видимъ, напр., на паровыхъ поляхъ. Рыхлость почвы сохраняется тѣмъ лучше и продолжительнѣе, чѣмъ гуще растенія на ней, и чѣмъ толще покрывающій слой настилки. Чѣмъ прямѣе падаютъ дожди, тѣмъ быстрѣе они нарушаютъ естественную или искусственно произведенную (напр. путемъ вскапыванія, вспахиванія и т. под.) рыхлость почвы путемъ замыванія и соотвѣтственнаго закупориванія поръ почвы.

Количества воды, достигающей подъ землей мѣста отвода въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ нѣтъ боковаго ея притока, всегда бываютъ меньше количества выпадающихъ осадковъ. Разница главнымъ образомъ обусловливается испареніемъ и въ большинствѣ случаевъ соотвѣтствуетъ количествамъ воды, выдѣляемой въ атмосферу. На пустынныхъ почвахъ количества просачивающейся воды увеличиваются и уменьшаются съ количествами осадковъ, но въ различныхъ соотношеніяхъ, которыя зависятъ отъ физическихъ свойствъ почвы и ея поверхности, а также и отъ распредѣленія осадковъ и временъ года. Чѣмъ больше испаряемость и водоемкость, и чѣмъ меньше проницаемость почвы, тѣмъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ количества проникающей въ нее воды бываютъ меньше, и обратно. Поэтому просачиваніе воды въ глубже лежащіе слои уменьшается по мѣрѣ увеличенія содержанія въ почвѣ мелкозернистыхъ глинистыхъ и перегнойныхъ составныхъ частей и по мѣрѣ уменьшенія некапиллярныхъ промежутковъ въ почвѣ, и обратно. Покрываніе почвы безжизненными матеріалами (напр., увядшими растеніями и частями растеній, камнями, пескомъ, крупнозернистыми сортами земли и проч.) имѣетъ своими послѣдствіями замѣтное увеличеніе количества просачивающейся воды, а покрываніе почвы живыми растеніями или такого рода землей, которая въ сильной степени удерживаетъ воду, наоборотъ, имѣетъ послѣдствіемъ весьма замѣтное уменьшеніе просачиванія воды.

Наибольшія количества проникаютъ въ нѣдра почвы въ тѣ времена года, когда осадки бываютъ наиболѣе обильны; исключеніе составляютъ только тѣ мѣстности, въ которыхъ почва зимой замерзаетъ и становится поэтому совершенно непроницаемой. Въ послѣднемъ случаѣ отводъ осадковъ переносится съ зимы на весну. Что касается взаимнаго соотношенія между количествами просачивающейся воды и количествами осадковъ, то въ общемъ остается справедливымъ тотъ основной законъ, что изъ всего количества выпавшей воды тѣмъ большее количество просачивается въ землю, чѣмъ холоднѣе бываетъ воздухъ или чѣмъ холоднѣе время года (пока только почва не замерзаетъ). Въ обсаженной живыми растеніями почвѣ, во время роста растеній, количества просачивающейся воды не измѣняются сообразно съ количествами осадковъ, а вслѣдствіе сильнаго испаренія растеніями они въ значительной степени уменьшаются (см. выше). Поэтому во всѣхъ обрабатываемыхъ земляхъ, независимо отъ распредѣленія осадковъ, періодъ наибольшаго подземнаго отвода воды совпадаетъ съ холодными временами года, когда растенія не живутъ,—съ зимой или весной—въ зависимости отъ тепловыхъ условій.

На слѣдующей таблицѣ приведены для различныхъ мѣстъ количества просачивающейся воды, собираемой дренажами и выраженной въ процентахъ количества осадковъ.

Мѣстность.	Глубина дренажей подъ землей въ миллиметр.	Родъ почвы.	Съ растительной покрышкой или безъ нея.	Количество выпадающаго дождя въ миллиметр.	Количества просачивающейся воды въ % количествѣ выпадающаго дождя.				
					Весной.	Лѣтомъ.	Осенью.	Зимой.	За годъ.
Манчестеръ	914	?	съ	827	29,6	5,3	15,6	59,5	25,1
Абачиль	914	Песч. глина . . .	съ	659	30,3	1,7	54,1	83,9	42,3
Гольмфельдъ	914	Доломитн. почва .	съ	625	24,9	7,7	22,8	30,3	19,6
Лее-Бриджъ	914	Песокъ	безъ	653	—	—	—	—	83,2
»	914	Глинистый песокъ.	съ	653	—	—	—	—	26,6
Розамстедъ	1016	Глина.	безъ	780	—	—	—	—	43,4
Женева.	?	?	?	660	—	—	—	—	39,0
Оранжъ	?	?	?	771	—	—	—	—	20,0
Салевъ	1200	Глина.	съ	1050	—	—	—	—	28,0
Гэрлицъ	1250	Глина.	безъ	652	36,1	29,5	26,5	19,0	28,1
»	1250	Глина.	безъ	652	52,4	45,6	28,6	29,9	41,0
»	1250	Песчаная глина. .	безъ	652	49,7	42,4	27,9	37,7	40,5
Тарандъ	1250	Глина.	съ	739	59,0	21,3	20,9	84,4	40,8
Могольцъ	1250	Глина.	съ	739	89,7	36,0	32,9	92,0	58,7
Эрлангенъ.	630	Песокъ	безъ	—	—	—	—	—	43,0
Зальцбургъ	630	Песчан. глина . .	съ	768	—	—	—	—	33,9
»	630	Песчан. глина . .	безъ	768	—	—	—	—	64,2
Обердэблингъ . . .	1264	Глина.	безъ	654	43,3	41,0	24,4	32,0	32,8

Эта таблица съ нѣкоторой наглядностью показываетъ намъ разницу инфильтраціи въ зависимости отъ рода почвы, и преимущественно еще обусловленную присутствіемъ или отсутствіемъ на ея поверхности растительнаго покрова.

Вліяніе растительнаго покрова на подземный отводъ воды обнаруживается весьма рѣзко. Это дѣйствіе растительнаго покрова продолжается только до тѣхъ поръ, пока растенія находятся въ состояніи своего роста; если-же растенія засохли, то они дѣйствуютъ въ качествѣ мертваго покрова почвы, увеличивая содержаніе воды въ почвѣ. Сохраненіе влажности въ почвѣ подъ покровомъ изъ безжизненныхъ предметовъ объясняется предохраненіемъ поверхности почвы отъ дѣйствія различныхъ факторовъ, вызывающихъ испареніе. Количества влажности въ почвѣ въ извѣстныхъ предѣлахъ (до толщины слоя около 5 сантим.) тѣмъ больше, чѣмъ толще на ней покровъ изъ мертвыхъ предметовъ. Покрытая живой растительностью почва, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, во время роста растеній бываетъ въ самомъ сухомъ состояніи; покрытая покровомъ изъ безжизненныхъ предметовъ бываетъ самая влажная, а необработанная голая почва занимаетъ средину между ними. При одинаковой высотѣ осадковъ и при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ почва, покрытая слоемъ мертвыхъ предметовъ толщ. не больше 5 сантим., даетъ наибольшія количества просачивающейся воды, за ней слѣдуетъ голая почва, а наименьшія количества воды просачиваются въ подпочву черезъ покрытую живымъ растительнымъ покровомъ поверхность почвы.

Вообще можно сказать, что всѣ условія, понижающія испареніе изъ почвы, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, увеличиваютъ подпочвенный отводъ воды, и обратно. Поэтому въ среднемъ климатѣ наибольшее количество воды просачивается въ подпочву зимой, пока почва только не замерзла; за этимъ слѣдуетъ весна, и наконецъ—осень. Наименьшее количество воды просачивается въ подпочву лѣтомъ, несмотря на то, что въ это время года количество выпадающихъ осадковъ среднимъ числомъ бываетъ наибольшее. Въ то время какъ зимой количество просачивающейся воды увеличивается съ глубиной почвы, лѣтомъ происходитъ обратное явленіе. Растительность иногда высасываетъ почву на весьма значительную глубину.

Лѣсная почва даетъ наибольшія количества воды въ глубже лежащія ея слои не зимой, а весной, что легко объясняется медленнымъ таяніемъ снѣговъ преимущественно въ хвойныхъ лѣсахъ. Весьма характерная особенность лѣсной почвы состоитъ еще въ томъ, что зимой лиственный покровъ почвы не имѣетъ никакого замѣтнаго вліянія на влажность почвы и на количества просачивающейся воды, между тѣмъ какъ лѣтомъ въ покрытую лиственнымъ покровомъ лѣсную почву просачивается воды въ 3 раза, а въ не покрытую листьями почву въ 2 раза больше, нежели просачивается въ голую почву на открытомъ мѣстѣ. Вообще наблюденія съ несомнѣнностью доказываютъ, что въ тѣнистой покрытой лѣсомъ мѣстности въ почву просачивается большее количество воды, нежели ея просачивается на голыхъ пустынныхъ поляхъ. Но отсюда не слѣдуетъ еще заключить, что лѣсная почва на большой глубинѣ бываетъ свѣжѣе и влажнѣе, нежели необработанное поле, и что поэтому лѣсъ имѣетъ болѣе замѣтное вліяніе на богатство источниковъ въ данной мѣстности, нежели невоздѣланныя поля, такъ какъ лѣсная почва въ области корней (глуб. 40—80 сантим.) въ теченіи всего года бываетъ суше, нежели голая почва открытаго поля на той-же глубинѣ. Наибольшее вліяніе на сохраненіе влажности почвы обнаруживаетъ мшистый покровъ или настилка, въ противоположность травѣ, которая дѣятельностью своихъ корней въ значительной степени изсушаетъ верхній слой почвы.

По наблюденіямъ Эбермайера изъ осадковъ (въ Германіи) за 1886 и 1887 года, составлявшихъ соотвѣтственно 958 и 634 милиметр., въ почву просачивались слѣдующія количества воды:

	1886	1887
Черезъ покрытую мхомъ почву	67,14 мил. (7%)	39,86 мил. (6,2%).
Черезъ голую почву	49,40 „ (5,1%)	22,56 „ (3,5%).
Въ почву буковаго лѣса	39,39 „ (4,1%)	18,77 „ (2,9%).
Въ почву сосноваго лѣса.	29,34 „ (3%)	9,90 „ (1,5%).

Для успокоенія тѣхъ, которые на этомъ основаніи могли-бы унизить значеніе лѣсовъ для подпочвеннаго притока воды, считаемъ нелишнимъ привести здѣсь заключительныя строки замѣтки Эбермайера [1])

„Относительно богатства источниковъ какой либо мѣстности произведенныя изслѣдованія приводятъ къ тому заключенію, что въ сравненіи съ голой, непокрытой растительностью почвой, лѣсъ даетъ меньшее питаніе источникамъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ оказываетъ большее содѣйствіе питанію источниковъ, нежели луга, выгоны, клеверныя поля и т. под. Лѣсъ самъ по себѣ, согласно вышесказанному, не можетъ образовать ключей, но для сохраненія существующихъ ключей онъ имѣетъ большее значеніе, нежели земледѣльческія культуры. Точно также сильное истребленіе лѣсовъ или обезлѣсеніе данной мѣстности должно имѣть своимъ послѣдствіемъ преждевременное изсяканіе источниковъ, такъ какъ по истеченіи короткаго времени почва сама собой покрывается травой и сорными травами, которыя для своего роста требуютъ больше воды, нежели лѣсъ. Многочисленные опыты вполнѣ подтверждаютъ эти заключенія“.

Относительно значенія лѣсныхъ лиственныхъ и моховыхъ покрововъ для сохраненія влажности почвы Вольни при своихъ изслѣдованіяхъ нашелъ, что изъ одного и того-же количества осадковъ черезъ различные лиственные покровы проходятъ гораздо большія количества воды, нежели проходитъ черезъ землю. Количества воды, пропускаемой черезъ покровъ изъ березовыхъ и буковыхъ листьевъ, и изъ сосновыхъ и еловыхъ хвой, незначительно разнятся между собой, но они гораздо больше количества воды, проходящей че-

[1]) Der Einfluss des Waldes und der Bestanddichte auf die Bodenfeuchtigkeit und auf die Sickerwassermengen. Forschr. a. d. Geb. der. Agrikulturphys. 1889.

резъ моховой покровъ. Лиственные и хвойные покровы проводятъ падающіе на нихъ осадки внизъ въ громадныхъ количествахъ, и тѣмъ больше, чѣмъ толще слои покрововъ; кромѣ того эти покровы долго сохраняются влажными, такъ какъ они теряютъ очень мало воды путемъ испаренія. Моховой-же покровъ, наоборотъ, обнаруживаетъ сильныя колебанія содержанія въ немъ воды, такъ какъ онъ съ одной стороны обладаетъ большой водоемкостью, но съ другой стороны онъ обладаетъ и весьма замѣтной способностью къ испаренію содержащейся въ немъ воды.

При различныхъ положеніяхъ мѣстности относительно горизонта, по наблюденіямъ Вольни, южный склонъ бываетъ наиболѣе теплый; за нимъ слѣдуютъ восточный и западный, а сѣверный склонъ бываетъ наиболѣе холодный. Южные склоны бываютъ тѣмъ теплѣе, а сѣверные тѣмъ холоднѣе, чѣмъ больше наклонъ мѣстности къ горизонту; вліяніе наклона на нагрѣваніе восточнаго и западнаго склоновъ значительно меньше. Разница въ температурахъ сѣвернаго и южнаго склоновъ бываетъ сравнительно гораздо больше, нежели въ температурахъ восточнаго и западнаго склоновъ. Вслѣдствіе этого сѣверные склоны бываютъ наиболѣе влажными; за ними слѣдуютъ западные, затѣмъ восточные, между тѣмъ какъ на южныхъ склонахъ мы находимъ наименьшія количества просачивающейся воды. Вообще-же почва склоновъ бываетъ тѣмъ влажнѣе, чѣмъ меньше наклонъ ихъ къ горизонту.

Оба рода указанныхъ движеній воды, а именно: поверхностное стеканіе воды по наклонной плоскости и прониканіе воды въ почву, при смоченномъ состояніи поверхности почвы, существенно отличаются другъ отъ друга по скорости движенія. Если сопротивленія открытому стеканію воды весьма малы, а сопротивленія проникаію ея въ почву значительны, то падающіе осадки быстро проходятъ къ открытымъ водянымъ потокамъ, преимущественно въ теченіи продолжительности дождя; смачиваніе почвы на ея поверхности послѣ прекращенія дождя будетъ весьма сильное, такъ какъ тогда (см. выше гл. 4) вода стекаетъ весьма медленно, и, вслѣдствіе дурной проницаемости почвеннаго покрова, просачиваніе ея въ почву чрезвычайно затруднено. Если-же, наоборотъ, почвенный покровъ имѣетъ рыхлое или пористое сложеніе, или если щели и трещины горныхъ породъ простираются до поверхности земли, гдѣ онѣ открыты, то падающему дождю такъ-же легко или даже легче просочиться вглубь, нежели стекать по поверхности; при такихъ свойствахъ почвы въ открытые потоки попадаетъ гораздо меньшая часть выпадающихъ дождей, нежели въ предыдущемъ случаѣ.

Если почву со свойствами перваго рода назовемъ непроницаемой, а почву второго рода—проницаемой, то въ каждой данной мѣстности эти свойства почвы легко узнаются по послѣдствіямъ атмосферныхъ осадковъ. Независимо отъ глетчеровъ и таянія снѣговъ, о которыхъ было сказано выше, обстоятельства складываются слѣдующимъ образомъ.

При продолжительномъ дождѣ на непроницаемой почвѣ всѣ водяные потоки принимаютъ характеръ быстрыхъ ручьевъ, весьма быстро разливаются и, вслѣдствіе образующагося быстраго теченія воды, отдѣляютъ и уносятъ съ собой много грунта. Тотчасъ-же послѣ прекращенія дождя вода опять входитъ въ берега, такъ какъ при этомъ начинается болѣе медленное стеканіе съ поверхности почвы, и бушевавшій незадолго передъ тѣмъ потокъ теперь превращается въ небольшой ручей, который при болѣе или менѣе продолжительной засухѣ почти или даже совсѣмъ высыхаетъ. Образуемое дождями половодье въ такихъ мѣстностяхъ бываетъ весьма опустошительно и сильно, но продолжается недолго. Вслѣдствіе этихъ быстро образующихся стремительныхъ потоковъ, какъ сказано выше, часть налегающаго на горахъ почвеннаго покрова отрывается и относится къ подошвѣ откоса, постоянно направленной къ долинѣ рѣки, гдѣ она отлагается въ видѣ наноса; продолжительность половодья слишкомъ коротка, чтобы вызвать переносъ детрита на болѣе значительныя разстоянія. При смываніи съ горъ почвенныхъ покрововъ обнажаются породы, сопротивляющіяся дѣйствію воды, вслѣдствіе чего является совершенно своеобразный характеръ наружнаго вида мѣстности. Прежде всего съ обѣихъ сторонъ горы по направленію къ долинѣ рѣки имѣется ясно видное паденіе, и рѣка располагается въ самомъ глубокомъ мѣстѣ долины или близъ него. По бокамъ долины

въ видѣ выступовъ или горныхъ вершинъ выступаютъ обнаженныя отъ верхнихъ покрововъ скалы, и ручьи, а также и главный потокъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онъ не можетъ протекать непосредственно по скаламъ, протекаетъ по ущельямъ или глубоко вырытымъ русламъ. Развѣтвленія рѣкъ бываютъ весьма многочисленны и большей частью протекаютъ въ глубокихъ руслахъ, обнаруживая собой послѣдствія выпавшихъ описаннымъ путемъ сильныхъ дождей; на концѣ какого-либо изъ развѣтвленій рѣдко можно обнаружить его начало или истокъ въ видѣ ключа. Растительныя культуры на водонепроницаемой почвѣ вообще бываютъ роскошны, и между ними характерно выдѣляются тѣ луга, которые растутъ не только на подошвѣ долины, но и на горахъ, такъ какъ почва вслѣдствіе смачиванія ея дождемъ допускаетъ только испареніе воды, но не просачиванія ея въ почву. Само собой разумѣется, что образованіе въ непроницаемой почвѣ грунтовой воды, а также и появленіе ключей, вслѣдствіе недостаточнаго просачиванія воды, чрезвычайно затруднено, и поэтому вблизи долины грунтовая вода въ замѣтныхъ количествахъ никогда не встрѣчается, и точно также она рѣдко встрѣчается здѣсь въ видѣ ключей или источниковъ.

Въ совершенно иномъ видѣ представляется теченіе въ проницаемой почвѣ. Въ этомъ случаѣ большая часть атмосферныхъ осадковъ черезъ почвенный покровъ просачивается подъ поверхность земли. Просочившаяся вода сперва заполняетъ трещины и щели, а главнымъ образомъ свободные промежутки между отдѣльными кусками горныхъ породъ, и затѣмъ пропитываетъ собой ограниченныя щелями сплошныя каменныя породы до полнаго ихъ насыщенія водой; кромѣ того вода образуетъ себѣ выходъ снаружи или-же на болѣе значительной глубинѣ. Между этимъ истокомъ и питающими его водяными потоками устанавливается извѣстное взаимное соотношеніе такого рода, что при безпрерывномъ и продолжительномъ притокѣ, какъ, напр., при продолжительномъ дождѣ, уровень воды въ послѣднихъ подымается, а при продолжительной засухѣ понижается. Когда уровень воды въ сѣти трещинъ повышается, то крупные куски сплошной горной породы пропитываются водой; когда-же, наоборотъ, уровень воды въ щеляхъ понижается, то пропитанныя водой массы каменныхъ породъ выдѣляютъ изъ себя воду, которая опять служитъ для питанія щелей, а слѣд. и истока. Вслѣдствіе сильнаго сопротивленія отъ тренія при проходѣ воды черезъ почвенный покровъ, черезъ находящійся въ трещинахъ и щеляхъ детритъ, черезъ поры породы и т. д., проходитъ весьма долгое время, пока атмосферные осадки достигаютъ того мѣста, гдѣ они опять оставляютъ свои подземные пути, являясь на дневную поверхность въ видѣ грунтовой или ключевой воды, или-же въ видѣ открытыхъ потоковъ. Такимъ образомъ открытые потоки получаютъ отъ подобныхъ ключей безпрерывный не сильно измѣняющійся притокъ, такъ какъ, согласно вышеописанному ходу явленія, просачивающіеся атмосферные осадки скопляются въ почвѣ весьма медленно и изъ этихъ большихъ резервуаровъ опять выдѣляются довольно равномѣрно. Къ этимъ равномѣрнымъ притокамъ, питающимъ открытые водяные потоки, при продолжительныхъ дождяхъ присоединяются тѣ части осадковъ, которыя протекаютъ по поверхности почвы, впадая въ ближайшіе открытые водяные потоки. Въ то время какъ при непроницаемой почвѣ, этокъ притокъ составляетъ бо́льшую часть падающихъ осадковъ, въ случаѣ проницаемой почвы этотъ поверхностный притокъ, преимущественно при небольшихъ уклонахъ почвы, бываетъ весьма незначительный. Вслѣдствіе этого теченіе половодья здѣсь бываетъ совсѣмъ иное; половодье наступаетъ менѣе быстро и проходитъ относительно медленно, такъ какъ послѣ прекращенія дождя начинается болѣе обильный притокъ грунтовой воды. Вообще, благодаря возможности просачиванія воды въ почву, стокъ воды происходитъ безъ сильнаго поднятія ея уровня, вслѣдствіе чего для ея сбора требуются меньшія русла. Такъ какъ берега этихъ руслъ не подвержены такому сильному и стремительному напору, какой обыкновенно бываетъ въ быстрыхъ ручьяхъ, то въ проницаемой почвѣ не встрѣчается ни глубокихъ руслъ, ни обнаженныхъ отъ почвенныхъ покрововъ горныхъ вершинъ и проч. Водяные потоки здѣсь менѣе многочисленны, но вслѣдствіе безпрерывнаго ихъ питанія ключами они никогда не высыхаютъ, и при этомъ они могутъ получиться въ такихъ руслахъ, которыя ни въ какомъ случаѣ не соотвѣтствуютъ наиболѣе глубокому положенію въ долинѣ. Долины образуютъ до извѣстной степени дренажи для выше расположенныхъ мѣстностей, черезъ которые отводится просачивающаяся въ почву вода, и поэтому, кромѣ главнаго русла, не имѣется почти никакихъ другихъ видимыхъ водяныхъ потоковъ. Поверхность почвы не измѣняется подъ вліяніемъ дождей, а долины большей частью бываютъ мелкія и широкія На склонахъ горъ, преимущественно въ тѣхъ мѣстахъ, которыя не могутъ заливаться вслѣдствіе быстраго просачиванія дождя, не могутъ быть разведены луга, которые поэтому большей частью встрѣчаются только въ подошвахъ долинъ. Наконецъ

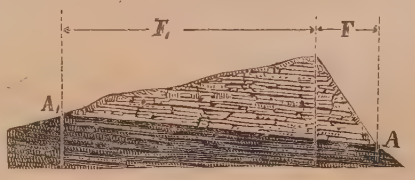
въ подобныхъ мѣстностяхъ повсюду въ долинѣ можно констатировать потокъ грунтовыхъ водъ, который вообще направляется съ обѣихъ сторонъ къ главному руслу, въ которое онъ и изливается.

По вышеизложенному можно легко узнать, въ какихъ случаяхъ мѣстность допускаетъ одинъ только поверхностный истокъ воды, и въ какихъ случаяхъ она допускаетъ какъ поверхностный, такъ и подземный истокъ; для опытнаго инженера достаточно изученіе карты данной мѣстности, чтобы въ общемъ оріентироваться въ этомъ вопросѣ.

Впрочемъ, приведенныя правила допускаютъ и нѣкоторыя исключенія. Такъ, напр., возможно появленіе довольно обильныхъ источниковъ или ключей въ непроницаемой почвѣ безъ измѣненія общаго ея характера; можетъ имѣть мѣсто и обратный случай, когда въ совершенно проницаемой почвѣ нельзя отыскать болѣе или менѣе сильные ключи или грунтовые потоки ни въ подошвѣ долины, ни въ какомъ-либо другомъ мѣстѣ, при отсутствіи недостатка въ необходимыхъ для ихъ образованія атмосферныхъ осадкахъ. Въ подобныхъ случаяхъ пути, по которымъ текетъ просачивающаяся въ почву вода, ведутъ къ другимъ болѣе отдаленнымъ областямъ осадковъ, и соотвѣтственно съ этимъ являющіеся ключи происходятъ отъ тѣхъ мѣстностей, которыя расположены внѣ топографической поверхности осадковъ данной мѣстности.

Исходя изъ этихъ соображеній необходимо отличать области осадковъ, служащія для инфильтраціи и образованія ключей, отъ топографическихъ областей осадковъ. Не всѣ грунтовыя воды изъ первыхъ своихъ сборныхъ каналовъ, напр., щелей и трещинъ въ породахъ, тотчасъ-же выходятъ на дневную поверхность; геогностическая конституція многихъ областей часто допускаетъ скопленіе грунтовыхъ водъ изъ различныхъ топографическихъ областей осадковъ въ болѣе или менѣе крупные грунтовые потоки, которые послѣ обыкновенно весьма длиннаго подземнаго пути появляются на дневную поверхность въ довольно отдаленной области осадковъ (обыкновенно съ слишкомъ значительной силой), не соотвѣтствующей данной мѣстности и ея топографической области осадковъ.

Въ большей части случаевъ о теченіи такихъ водъ существуютъ одни только предположенія; но въ нѣкоторыхъ случаяхъ путемъ геологическихъ изслѣдованій можно опредѣлить водораздѣлъ для грунтовыхъ водъ, и затѣмъ прослѣдить ихъ теченіе. Вообразимъ себѣ, напр., горную массу цилиндрической формы, поперечное сѣченіе которой, перпендикулярное образующей, изображено на прилагаемомъ чертежѣ (ф. 4). Топографическая область осадковъ для положенія A будетъ изображаться величиной F, а для положенія A_1 она будетъ F_1, гдѣ F и F_1 представляютъ собой горизонтальныя проекціи соотвѣтствующихъ цилиндрическихъ поверхностей. Если AA_1 изображаетъ собой подземное направленіе непроницаемаго слоя, то для точки A_1 количества получаемой грунтовой воды будетъ $= 0$, а для точки A оно, наоборотъ, будетъ больше количества, соотвѣтствующаго инфильтраціонной площади F. Въ то время какъ топографическая область осадковъ въ отношеніи положенія A составляетъ F, инфильтраціонная область, питающая ключи, для этого положенія составляетъ $F+F_1$.



Фиг. 4.

Естественными измѣненіями почвы (путемъ размыванія породъ, боковымъ перемѣщеніемъ рѣкъ, дислокаціей породъ, наносами, разницей въ твердости породъ, химическими преобразованіями и проч.), а также и искусственными средствами (откопкой) подземные водораздѣлы могутъ быть измѣнены весьма сильно. Разительный примѣръ перваго рода измѣненія, изслѣдованіе котораго было облегчено постройкой новой стратегической желѣзнодорожной линіи отъ Оберлаухрингена до Иммединген (въ Баваріи), мы видимъ предъ глазами. Несомнѣнно теченіе р. Вутаха раньше было направлено черезъ долину Айтраха по

направленію черезъ Бламбергскую таможню. Съ постояннымъ углубленіемъ Рейна это теченіе закрылось, и въ настоящее время вся принадлежащая къ р. Вутахъ область изливаетъ свои воды въ Рейнъ.

Измѣненіе спуска подземныхъ водъ искусственными средствами представляетъ собой главную задачу гидротехническаго инженера, къ которой, впрочемъ, мы еще вернемся впослѣдствіи.

Вслѣдствіе безпрерывной инфильтраціи отъ уровня моря по направленію водяныхъ потоковъ въ теченіи тысячъ лѣтъ, всѣ пустоты и поры почвы, лежащія ниже поверхности этихъ потоковъ (ели онѣ только опять не дренированы сами по себѣ), заполнялись водой, которая въ парообразномъ или капельно-жидкомъ состояніи съ большимъ или меньшимъ сопротивленіемъ отъ тренія распространялась по всѣмъ направленіямъ. Поэтому на всѣхъ глубинахъ ниже этихъ поверхностей всегда находятъ болѣе или менѣе значительныя количества воды, и попытки удаленія этихъ запасовъ воды показываютъ намъ, что въ зависимости отъ свойства почвы изъ нея притекаютъ большія или меньшія количества свѣжей воды, откуда мы заключаемъ, что если на такихъ глубинахъ имѣются еще свободныя пустыя пространства, то вода и въ настоящее время стремится ихъ заполнять. Поэтому открытые и закрытые водяные потоки земли находятся въ постоянной внутренней связи между собой.

Кажущееся исключеніе изъ этого правила составляютъ тѣ области, отъ которыхъ вода отведена путемъ подземнаго дренажа, какъ это, напр., имѣетъ мѣсто при отводѣ воды изъ горныхъ выработокъ путемъ штоленъ, водоотливныхъ насосовъ и проч. Но и въ этихъ случаяхъ подземные потоки, наконецъ, сообщаются въ какомъ-нибудь мѣстѣ съ открытыми потоками, подъ которыми съ одинаковыми измѣненіями происходитъ полное заполненіе водой всѣхъ поръ въ каменной породѣ.

Уже съ незапамятныхъ временъ извѣстенъ тотъ фактъ, что всякая начинающаяся съ поверхности земли глубокая скважина на нѣкоторой глубинѣ встрѣчаетъ воду въ жидкомъ состояніи, и въ предположеніи, что эта вода находится въ спокойномъ состояніи, мѣсто появленія воды обозначалось названіемъ водяного горизонта или горизонта воды. Если заложить нѣкоторое число подобныхъ скважинъ, то связанные между собой горизонты воды въ этихъ скважинахъ изображаютъ собой вообще кривую поверхность, которую цѣлесообразно (вслѣдствіе подвижности воды) называютъ волной грунтовой воды или грунтовой волной. (Въ каждой данной точкѣ она представляетъ собой горизонтъ грунтовыхъ водъ). Подъ этой грунтовой волной до ближайшаго непроницаемаго слоя вся порода насыщена водой, и это насыщеніе простирается и подъ непроницаемый слой, если здѣсь не имѣется естественнаго или искусственнаго дренажа, подобнаго вышеописанному. Слои почвы, образующіе собой естественные дренажи, называются абсорбирующими или поглощающими слоями. Если водопроницаемый слой почвы окруженъ непроницаемыми матеріалами, то стокъ воды здѣсь не связанъ условіемъ постояннаго наклона этой рукавообразной оболочки; положеніе подобнаго рукава между притокомъ и спускомъ можетъ быть восходящее и нисходящее, подобно тому какъ это можетъ имѣть мѣсто въ водопроводной трубѣ. Въ подобныхъ случаяхъ внутри рукава существуетъ давленіе, которое при пробуреніи рукава обнаруживается подыманіемъ воды въ скважинѣ; встрѣчаемая въ подобныхъ условіяхъ вода называется артезіанскимъ потокомъ.

Какъ-бы разнообразны ни были всѣ эти явленія подпочвенной воды въ своихъ деталяхъ и различныхъ комбинаціяхъ, но при всѣхъ обстоятельствахъ всякій подземный потокъ долженъ быть приведенъ въ связь съ какимъ-нибудь открытымъ водоемомъ, даже если истокъ происходитъ на берегу моря или даже на днѣ его. Эта дѣйствительно существующая связь непосредственно ясно обнаруживается при изливаніи ключей въ ручьи, а также и при изливаніи грунтовыхъ водъ въ рѣчныя русла, происходящемъ видимымъ образомъ въ сухое время года. Существуетъ много примѣровъ изливанія грунтовыхъ потоковъ въ море, наглядно доказывающихъ этотъ фактъ.

Въ заключеніе упомянемъ здѣсь опять, что какъ жидкая, такъ и твердая вода всегда существуютъ одновременно съ водой въ третьемъ ея состояніи, въ

парообразномъ, и между ними всегда существуетъ неразрывная связь. Только мысленно представляя себѣ распространеніе подобной воды въ надземной и подземной атмосферахъ, можно получить ясное представленіе объ общемъ появленіи этого вещества надъ и подъ земной поверхностью.

Послѣ этого краткаго обзора явленія дѣлается вполнѣ понятной несостоятельность слѣдующаго, до сихъ поръ, къ сожалѣнію, примѣняемаго въ техникѣ правила, гласящаго, что „одна треть падающей на область осадковъ воды стекаетъ по поверхности земли, слѣдующая треть просачивается въ землю и идетъ на питаніе ключей, наконецъ, послѣдняя треть испаряется и поглощается растеніями". Природа, очевидно, не работаетъ по этому простому рецепту; можетъ быть, если-бы это на самомъ дѣлѣ происходило такъ, то было-бы не хорошо. Стекающая по поверхности вода стоитъ въ тѣсной связи съ грунтовой водой, такъ какъ она принимаетъ въ себя питаемые послѣдней ключи, а появленіе и мощность этихъ ключей находится въ такой зависимости отъ рельефа, геологическаго и культурнаго свойства области осадковъ, что всякія численныя данныя безъ подробнаго изученія этихъ условій являются невозможными. Что-же касается испаренія, поглощенія растительностью и проч. то при зависимости его отъ климата, температуры, вѣтровъ, недостатка насыщенія атмосферы, отъ существующихъ растительныхъ культуръ и т. д., оцѣнка его равномѣрно для всѣхъ случаевъ въ одну треть всего количества осадковъ является совершенно неосновательной.

Недостатокъ насыщенія атмосфернаго воздуха, существующій въ одинаковомъ состояніи большей частью на значительныхъ протяженіяхъ земной поверхности, кажется главной причиной той законности, которая обнаруживается колебаніями содержанія воды въ подпочвѣ, независимо отъ смачиванія почвы; этотъ недостатокъ извѣстнымъ образомъ служитъ регуляторомъ, помощью котораго въ общемъ достигается требуемое уравниваніе между тремя состояніями воды. Поэтому часто приводимыя наблюденія надъ уменьшеніемъ количества капельно-жидкой воды въ ключахъ и потокахъ не могутъ привести къ заключенію о томъ, что вода все больше и больше исчезаетъ съ земли; только наружный видъ или состояніе подвергается измѣненію, а общее количество остается неизмѣннымъ. Не подлежитъ сомнѣнію, что при дальнѣйшемъ развитіи естествознанія современемъ удастся установить законность, существующую между колебаніями въ физическомъ состояніи воды въ природѣ.

6. Количество инфильтраціи, остающейся въ почвѣ въ жидкомъ состояніи и служащей для питанія ключей. Резервуары грунтовой воды.

При слѣдующихъ ниже разсужденіяхъ необходимо всегда имѣть въ виду что ледъ, капельно-жидкая вода и водяной паръ нераздѣльны другъ отъ друга и всегда одновременно находятся вмѣстѣ (см. отд. IV. гл. 2), и что въ общемъ приращеніе въ одномъ изъ этихъ состояній имѣетъ своимъ послѣдствіемъ уменьшеніе въ другомъ, и обратно. Превращеніе капельно-жидкой воды въ водяной паръ представляетъ собой работу, развиваемую сообщенной водѣ теплотой; какъ только вслѣдствіе заимствованія отъ воды или выдѣленія ею теплоты удѣльный объемъ пара уменьшается, тотчасъ-же опять возстанавливается первоначальное жидкое или твердое состояніе. Это уменьшеніе удѣльнаго объема не связано ни съ какимъ опредѣленнымъ мѣстомъ, а обусловливается единственно только пониженіемъ

температуры; но такъ какъ почва на нашей земной поверхности представляетъ собой пористую массу, какъ это можетъ быть доказано путемъ непосредственнаго опыта для всѣхъ родовъ почвъ, то при пониженіи температуры воздухъ, заполняющій поры каменныхъ породъ почвы и всегда смѣшанный съ водянымъ паромъ, долженъ выдѣлить часть содержащагося въ немъ пара и сгустить его въ жидкое состояніе. При нѣкоторыхъ обстоятельствахъ это сгущеніе можетъ произойти до появленія такъ называемой точки росы, какъ объ этомъ было упомянуто выше (см. гл. 3). Наоборотъ, при усиленіи нагрѣванія почвы, проникшая въ ея поры или находящаяся въ ней капельно-жидкая вода опять превращается въ газообразное состояніе въ количествѣ, соотвѣтствующемъ силѣ испаренія. Въ подобныхъ случаяхъ влажность, отдѣляясь отъ поверхности грунтовыхъ водъ, постоянно подымается въ выше лежащіе слои горныхъ породъ; это выдѣленіе воды въ видѣ водяныхъ паровъ необходимо должно происходить насчетъ имѣющихся въ почвѣ запасовъ воды (см. гл. 2). Подобнымъ-же путемъ, преимущественно въ мало трещиноватыхъ, съ небольшими порами, породахъ, происходитъ капилярное подыманіе капельно-жидкой воды, поглощаемой затѣмъ корнями растеній и проч.

Такимъ образомъ количество остающейся въ почвѣ и служащей для питанія источниковъ просачивающейся воды обусловливается не однимъ только притокомъ проникающей въ почву дождевой воды, но также и выдѣленіемъ ея путемъ волосности и испаренія; только избытокъ воды послѣ всѣхъ потерь можетъ быть разсматриваемъ, какъ притокъ къ подземному резервуару, служащему для питанія источниковъ и грунтовыхъ потоковъ.

Послѣдствіемъ этихъ явленій служитъ замѣчаемое въ среднихъ климатахъ слабое вліяніе лѣтнихъ дождей на обильность ключей и весьма замѣтное всегда ослабленіе истока грунтовыхъ водъ вообще въ теченіи лѣта и осени. Падающая на почву и проникающая во-внутрь ея жидкая вода подъ вліяніемъ солнечной теплоты большею частью обращается въ газообразное состояніе, частью-же всасывается въ жидкомъ состояніи растительнымъ міромъ, требующимъ въ это время года усиленнаго питанія, и опять выдѣляется въ видѣ пара. Оба эти обстоятельства, какъ мы видѣли выше (см. гл. 2) обусловливаютъ собой весьма значительное уменьшеніе количества находящейся въ почвѣ, т. е. просачивающейся въ нее, капельно-жидкой воды, и это уменьшеніе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше недостатокъ насыщенія наружнаго воздуха; оно весьма рѣзко обнаруживается на ключахъ при сравненіи жаркаго и холоднаго лѣта съ одинаковыми количествами дождей въ обоихъ. Зимой въ нормальное время выпадаетъ меньше осадковъ, нежели лѣтомъ, и тѣмъ не менѣе весной замѣчается болѣе или менѣе сильное увеличеніе производительности источниковъ. Это увеличеніе бываетъ весьма замѣтно, если зима была обильна снѣгами, и, наоборотъ, мало замѣтно, если зимой выпало мало снѣгу или его совершенно не выпало. Этотъ фактъ объясняется не однимъ только количествомъ воды, получаемой отъ таянія снѣговъ, которое большей частью бываетъ гораздо меньше притока отъ лѣтнихъ дождей; онъ больше объясняется упомянутыми выше соотношеніями и отдыхающей или замирающей на зиму растительностью. Плотный снѣжный покровъ приблизительно непроницаемъ для воздуха, вслѣдствіе чего онъ уничтожаетъ всякую потерю жидкой воды путемъ обращенія ея въ паръ, не дозволяя ей выдѣляться изъ почвы вмѣстѣ съ насыщеннымъ ею подпочвеннымъ воздухомъ. Подъ снѣжнымъ покровомъ поверхность почвы остается открытой, если только она не замерзла до покрытія ея снѣгомъ. Насыщенный водяными парами болѣе теплый подпочвенный воздухъ заполняетъ пространство между снѣжнымъ покровомъ и поверхностью грунтовой воды, и часть теплоты пара идетъ на таяніе нижнихъ соприкасающихся съ почвой частей снѣга, вслѣдствіе чего происходитъ постоянный приливъ воды, при чемъ отдыхающая растительность не поглощаетъ находящихся въ почвѣ запасовъ. Притокъ воды при началѣ таянія снѣга увеличивается до того момента, когда опять наступаетъ свободная связь или сообщеніе между подпочвеннымъ воздухомъ и наружной атмосферой. Но и тогда еще не происходитъ замѣтнаго испаренія, такъ какъ внѣшній воздухъ еще довольно холоденъ и насыщается незначительными количествами паровъ.

Упомянутое только что условіе, благопріятствующее сохраненію жидкой воды въ почвѣ,

имѣетъ мѣсто и тогда, когда зимой совершенно не выпало снѣга; но замерзшая почва, какъ показалъ опытъ, не такъ непроницаема для подпочвеннаго воздуха, какъ снѣжный покровъ. Прекращеніе поглощенія воды изъ почвы отдыхающей растительностью имѣетъ мѣсто и въ этомъ случаѣ, являясь также условіемъ, благопріятствующимъ скопленію жидкой воды въ почвѣ.

Вообще зима весьма благопріятствуетъ образованію и сохраненію въ почвѣ большихъ запасовъ капельно-жидкой воды, которые бываютъ тѣмъ обильнѣе, чѣмъ большее количество снѣга выпало на замерзшую поверхность почвы, и могутъ быть меньше нормальныхъ въ случаѣ безснѣжной зимы. Такъ какъ оживающій весной растительный міръ расходуетъ весьма много воды, то присутствіе такихъ запасовъ воды въ почвѣ является весьма желательнымъ, и вслѣдствіе этого подобныя снѣжныя зимы имѣютъ весьма важное значеніе для обильности ключей.

Всѣ вышеприведенныя объясненія приводятъ насъ къ тому заключенію, что потеря находящейся подъ почвой жидкой воды будетъ тѣмъ больше, чѣмъ теплѣе климатъ данной мѣстности, и обратно. Это заключеніе вполнѣ согласуется съ результатами наблюденій, показывающими, что въ мѣстностяхъ съ холоднымъ климатомъ, при сравнительно небольшихъ дождевыхъ инфильтраціяхъ, встрѣчаются обильные и постоянные ключи, между тѣмъ какъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ въ мѣстностяхъ съ теплымъ климатомъ ключи встрѣчаются рѣже и обладаютъ сильно измѣняющимся обиліемъ.

Въ главѣ 5 мы изложили общія свѣдѣнія о теченіи инфильтраціи въ почву, теоретически разсмотрѣнныя въ гл. 4, и указали, что прониканіе воды въ почву въ рѣдкихъ случаяхъ происходитъ непосредственно и подвержено вліянію различныхъ, находящихся на поверхности почвы, культуръ. Теперь разсмотримъ этотъ вопросъ нѣсколько подробнѣе.

Всѣ произведенныя наблюденія показали, что почва въ плотномъ состояніи проводитъ воду сверху внизъ гораздо медленнѣе, нежели въ рыхломъ состояніи, и что просачиваніе или прониканіе воды въ почву происходитъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ большее количество некапиллярныхъ пустотъ (какъ, напр., щелей, трещинъ и проч.) содержится въ почвѣ. Такъ какъ, наоборотъ, въ каждой почвѣ капиллярное поднятіе воды происходитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ большее число содержится въ немъ некапиллярныхъ пустотъ, и такъ какъ это-же самое соотношеніе справедливо и относительно высоты капиллярнаго поднятія воды по почвѣ, то ясно, что геотектоническія условія имѣютъ весьма важное значеніе въ отношеніи остающейся въ жидкомъ состояніи въ почвѣ инфильтраціи. Въ трещиноватыхъ известнякахъ, песчаникахъ и проч., если эти породы расположены мощными пластами на непроницаемомъ слоѣ, къ глубже расположеннымъ горнымъ массамъ по капиллярнымъ промежуткамъ быстро подводятся громадныя количества метеорной воды, которая насыщаетъ раздѣленныя на глыбы породы. Такимъ путемъ вода скопляется въ подземные резервуары громадной емкости и можетъ служить для интенсивнаго и равномѣрнаго питанія ключей. Если-же, наоборотъ, мы имѣемъ дѣло со сплошной или компактной породой, въ которую протеканіе воды можетъ только произойти черезъ волосныя или капиллярныя скважины, то условія капиллярнаго провода воды внизъ нисколько не благопріятнѣе, нежели условія капиллярнаго поднятія воды вверхъ, вслѣдствіе чего подобныя породы, даже на весьма значительныхъ глубинахъ, оказываются только отчасти влажными, встрѣчаясь весьма рѣдко, только при появленіи щелей или трещинъ, въ насыщенномъ состояніи.

Въ дѣйствительности этихъ соотношеній убѣждаютъ насъ наблюденія при проведеніи туннелей и желѣзнодорожныхъ выемокъ; всякому извѣстно, какія громадныя количества воды

приходится преодолѣвать при проведеніи туннеля въ известковыхъ, песчаниковыхъ и т. под. скалахъ, между тѣмъ какъ при проведеніи туннелей черезъ сплошныя каменныя породы (какъ, напр., туннель Mont-Cenis) послѣднія даже на весьма большой глубинѣ подъ землей (1600 метр.) оказываются только отчасти влажными.

Весьма благопріятными для обильной инфильтраціи воды являются обломочныя горныя породы: глыбы, песокъ и хрящи всякаго рода. Въ этихъ обломочныхъ пластахъ число некапиллярныхъ промежутковъ относительно весьма велико, причемъ капиллярныя скважины обыкновенно имѣютъ еще ту величину, при которой дѣйствіе силы тяжести не встрѣчаетъ слишкомъ сильнаго противодѣйствія въ прилипаніи.

Тѣми-же путями, по которымъ вода приникаетъ вглубь, происходятъ также и потери воды. Находящаяся на поверхности почвы растительность производить капиллярное всасываніе воды, причемъ разница въ степени насыщенія и давленіи между наружной атмосферой и подпочвеннымъ воздухомъ обусловливаетъ собой испареніе и соотвѣтственное движеніе водяныхъ паровъ по капиллярнымъ и некапиллярнымъ скважинамъ. Само собой разумѣется, если въ почвѣ имѣется множество некапиллярныхъ скважинъ, по которымъ почти безъ всякаго сопротивленія можетъ развиться воздушное теченіе, а слѣд. свободно можетъ происходитъ испареніе, то испареніе будетъ весьма энергичное. Оно въ значительной степени затрудняется при отсутствіи такихъ скважинъ или промежутковъ, когда подпочвенный воздухъ долженъ протекать между плотно прилегающими другъ къ другу частицами почвы. Пути для этого теченія воздуха могутъ въ значительной степени стѣсняться проникающею сверху водой, а при прониканіи большихъ массъ воды эти пути могутъ быть даже совершенно закупорены, такъ что, напр., въ теченіе болѣе или менѣе продолжительнаго дождя подпочвенный воздухъ вообще будетъ отдѣленъ отъ внѣшней атмосферы, если для ихъ сообщенія служатъ однѣ только капиллярныя скважины почвы. Весьма понятно, что въ продолженіи всего процесса испаренія большей частью происходитъ двойное теченіе: холоднаго воздуха извнѣ вовнутрь, а теплаго извнутри кнаружу.

Если воздухъ подъ давленіемъ протекаетъ черезъ почву, то количество прошедшаго воздуха прямо пропорціонально давленію и обратно пропорціонально толщинѣ слоя почвы, съ тѣмъ только ограниченіемъ, чтобы скорость теченія не превышала 0,062 метр. въ секунду. Если-же величина скорости превышаетъ этотъ предѣлъ, то соотношеніе измѣняется, и объемы прошедшаго воздуха убываютъ въ меньшемъ отношеніи къ пониженію давленія и соотвѣтственно къ увеличенію толщины слоя, и обратно. Затѣмъ количество воздуха пропорціонально проницаемому поперечному сѣченію. Емкость пустотъ въ видимомъ объемѣ тѣла вліяетъ въ двухъ отношеніяхъ: съ одной стороны, количества воздуха, проходящаго при одинаковомъ давленіи черезъ различныя почвы съ одинаковаго размѣра порами, пропорціональны полнымъ объемамъ поръ, а съ другой стороны различные размѣры поръ при одинаковомъ полномъ ихъ объемѣ обусловливаютъ такія значительныя разницы, что предѣльныя значенія могутъ разниться между собой въ 20000 разъ. Измѣненіе обоихъ этихъ факторовъ происходитъ при разрыхленіи почвы, при которомъ увеличиваются не только размѣръ отдѣльныхъ поръ, но и общій ихъ объемъ. Въ плотныхъ почвахъ съ небольшими порами разрыхленіе вызываетъ относительно болѣе замѣтную проницаемость, нежели въ почвахъ съ очень крупными порами.

Увлажненіе почвы дождемъ производитъ весьма различное дѣйствіе въ зависимости отъ величины поръ; въ то время какъ проницаемость почвы съ крупными порами отъ увлажненія измѣняется весьма мало, почва съ малыми порами можетъ сдѣлаться совершенно непроницаемой. Такое-же точно дѣйствіе, но въ болѣе значительной степени производитъ смачиваніе снизу, какъ это происходитъ при просачиваніи грунтовой воды въ налегающіе слои (или-же какъ оно производится капиллярнымъ притяженіемъ). Когда почва замерзаетъ, то проницаемость ея для подпочвеннаго воздуха сильно понижается не только вслѣдствіе расширенія воды при замерзаніи, но главнымъ образомъ потому, что вода въ замерзшемъ состояніи дѣлается совершенно неподвижной въ порахъ.

На основаніи законовъ аэродинамики не подлежитъ сомнѣнію, что въ почвѣ происходитъ постоянное движеніе подпочвеннаго воздуха, заполняющаго собой поры почвы. Это движеніе обусловливается разностью температуръ близкихъ другъ отъ друга и сообщающихся между собой массъ воздуха, механическимъ давленіемъ или ударомъ воздуха путемъ вѣтра по какому нибудь опредѣленному направленію, а также и стремленіемъ содержащихся въ воздухѣ газовъ проникать равномѣрно по всѣмъ направленіямъ. Такъ какъ подпочвенный воздухъ соотвѣтственно своей температурѣ насыщенъ водянымъ паромъ, то самого незначительнаго охлажденія оказывается достаточнымъ для сгущенія этого водяного пара въ почвѣ; наоборотъ, при весьма сухомъ и тепломъ наружномъ воздухѣ истеченіе подпочвеннаго воздуха во внѣшнюю атмосферу будетъ весьма замѣтно ускорено. Основываясь на этихъ явленіяхъ, Dr. Volger во Франкфуртѣ предложилъ теорію, по которой всѣ находящіяся въ почвѣ водохранилища происходятъ исключительно отъ сгущенія притекающаго снаружи въ почву влажнаго воздуха. Эта теорія признается и многими другими лицами. Конечно, невозможно оспаривать возможность подобной конденсаціи, но объясненіе происхожденія ключей исключительно этимъ явленіемъ весьма ошибочно, какъ это будетъ указано ниже.

Разсматривая въ совокупности всѣ вышеприведенные факторы, обусловливающіе образованіе остающихся въ почвѣ инфильтрацій, мы видимъ, что необходимо должны быть приняты во вниманіе многія, различныя для различныхъ мѣстъ, обстоятельства и явленія, даже приблизительное численное выраженіе которыхъ совершенно невозможно; вслѣдствіе этого весьма трудно привести численныя данныя, основанныя на этихъ явленіяхъ. При этомъ главную роль играютъ климатъ мѣстности и наружное смачиваніе почвы дождемъ или тающимъ снѣгомъ и льдомъ; затѣмъ весьма замѣтное вліяніе имѣютъ находящіяся надъ почвой растительныя культуры, а также и свойства самой почвы въ смыслѣ большей или меньшей ея проницаемости для воды и подпочвеннаго воздуха. Если мы имѣемъ дѣло съ замкнутой со всѣхъ сторонъ областью ключа, ежегодная производительность котораго точно измѣряется, такъ что количества остающейся въ почвѣ жидкой воды и правильное ея возобновленіе могутъ быть представлены результатами непосредственнаго измѣренія, то соотвѣтствующая высота слоя воды можетъ быть выражена численно, и эти результаты могутъ быть примѣнены при тождественныхъ условіяхъ, но только именно при совершенно тождественныхъ. Получаемую такимъ образомъ высоту слоя воды обыкновенно называютъ *инфильтраціоннымъ числомъ*; умножая это число на квадратное содержаніе поверхности области питанія ключа, получаемъ полную годовую производительность источника. Раздѣляя это произведеніе на 365, для опредѣленія средней суточной производительности ключа, мы увидимъ, что она никогда не согласуется съ дѣйствительностью; въ зависимости отъ положенія мѣстности и величины подземнаго резервуара, суточная производительность зимой бываетъ больше, а лѣтомъ меньше полученной средней или обратно. На высокихъ горахъ (напр. на Альпахъ) максимумъ бываетъ лѣтомъ, а минимумъ зимой; въ среднихъ холмистыхъ и низменныхъ мѣстностяхъ мы видимъ обратное явленіе. Наблюденія за каждый годъ даютъ различные общіе результаты, но *никакой законности для болѣе или менѣе длиннаго періода времени не замѣтно*.

Впрочемъ, для опредѣленной мѣстности и достаточно значительнаго подпочвеннаго резервуара нѣкоторая законность выражается соотвѣтствіемъ между атмосферными осадками и уменьшеніемъ или увеличеніемъ остающейся въ почвѣ въ жидкомъ состояніи инфильтраціи, т. е. стояніемъ грунтовыхъ водъ или производительностью ключей.

Доказательствомъ этому могутъ служить, между прочимъ, наблюденія Ланга, который въ заключеніе своей замѣтки о наблюденіяхъ надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ близъ Мюнхена въ теченіе 1857—1886 годовъ говоритъ:

„Существуетъ весьма близкая къ истинѣ вѣроятность внутренней связи между осадками и уровнемъ грунтовыхъ водъ какъ въ теченіи года, такъ и въ теченіе мѣсяца. Доказанное

вліяніе осадковъ на уровень грунтовыхъ водъ тѣмъ не менѣе измѣняется со временемъ года, такъ что (въ Мюнхенѣ) осенніе и весенніе осадки гораздо больше повышаютъ уровень грунтовыхъ водъ, нежели соотвѣтствующія-же количества лѣтнихъ осадковъ. Это измѣняющееся со временемъ года вліяніе осадковъ въ концѣ концовъ разъясняетъ намъ причину незначительныхъ, впрочемъ, уклоненій соотвѣтствія обоихъ этихъ элементовъ въ теченіи столѣтія. Поэтому если желательно сравнить столѣтнее теченіе какого-нибудь явленія природы съ явленіемъ гидрометеоровъ, то нѣтъ необходимости обращаться къ дѣйствительнымъ количествамъ осадковъ, а можно вмѣсто нихъ принять въ разсчетъ уровни грунтовыхъ водъ. Точно также справедлива вѣроятность обратнаго чаще встрѣчаемаго случая, что измѣненіе уровня грунтовыхъ водъ въ теченіи столѣтія можетъ быть замѣнено измѣненіемъ за это время количества осадковъ.

Выясненіе этихъ фактовъ повело къ попыткѣ—по доступнымъ для насъ наблюденіямъ надъ годовымъ количествомъ осадковъ, или высотой дождя h (метр.), составить простую формулу, по которой можно было-бы опредѣлить среднее количество остающейся въ жидкомъ состояніи инфильтраціи почвы, или, что одно и то-же, количество образующейся грунтовой воды, или, наконецъ, производительность ключа для нѣкоторой области опредѣленныхъ свойствъ и данной площади f (квадр. километр.) Количество получаемой въ каждую секунду воды Q (въ кубич. метр.) принимаютъ

$$Q = K f h.$$

и путемъ опыта отпредѣляютъ значеніе K.

По наблюденіямъ Debauve (см. отд. IV) источникъ Соргю у Воклюза даетъ половину всего количества падающихъ на эту область осадковъ; отсюда величина K получается:

$$K = \frac{1}{2}\,\frac{100000}{365.24.60.60} = \frac{1}{2}\,.\,0{,}03171 = 0{,}01586\,.$$

По извѣстному правилу, что треть всего количества атмосферныхъ осадковъ просачивается въ почву и служитъ для питанія ключей, которое Heim признаетъ справедливымъ для „всей средней Европы“, величина K получается

$$K = \frac{1}{3}\,.\,0{,}03171 = 0{,}01057\,.$$

Лаутенбергъ даетъ среднее значеніе K:

$$K = 0{,}00700\,.$$

По даннымъ Исцковскаго для болѣе или менѣе значительныхъ рѣчныхъ областей въ слѣдующей таблицѣ приведены наименьшія нормальныя количества воды, (получаемой исключительно изъ грунтовой воды или соотвѣтственно изъ ключей) даваемыя однимъ квадр. километромъ въ секунду (въ литрахъ), и значенія величины K, получаемыя отъ дѣленія этихъ количествъ на высоты дождя.

Названіе рѣчной области.	Средняя высота дождя милимет.	Площадь въ квадр. километрахъ.	Q	K.
Область Луары выше Тура	750	42600	6,34	0,00845
Область Роны выше устья Саоны	1100	21000	8,24	0,00749
Область Рейна до впаденія его въ Боденское озеро .	1142	6620	7,57	0,00663
Область Эльбы до Альтенцаунъ	600	157400	3,81	0,00635
Область Одера до устья Варты	550	99273	3,30	0,00600
Область Сены до Манта	683	61900	4,06	0,00594
Область Дуная до Вѣны	830	97920	4,57	0,00550
Область Вислы до устья	630	181708	3,42	0,00543
Область Везера до Бремена	710	40000	3,81	0,00537
Область Гароны до Тулузы	1200	10500	6,34	0,00528
Область Мемеля до Тильзита	620	100000	3,17	0,00511

По даннымъ Парамеля количество доставляемой ключами воды составляетъ приблизительно $^1/_{12}$ всего количества воды, выпадающей въ видѣ дождя или другихъ влажныхъ осадковъ. По этимъ даннымъ среднее значеніе K будетъ

$$K = \frac{1}{12} \cdot 0{,}03171 = 0{,}00264.$$

Бекеръ на основаніи своихъ наблюденій въ Великомъ Герцогствѣ Баденскомъ приводитъ, что средняя производительность ключей въ О'денвальдѣ при средней высотѣ дождя въ 1097 милим. составляетъ на 1 кв. километръ 1,84 литр. въ секунду; отсюда получается

$$K = 0{,}00168;$$

по даннымъ того-же автора для Шварцвальдскихъ ключей

$$K = 0{,}00136.$$

Приведенныя числа наглядно показываютъ на чрезвычайное разнообразіе условій и крайнюю затруднительность выбора какого-либо средняго значенія. Впрочемъ, опытъ показываетъ, что при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ величина K уменьшается съ величиной области осадковъ.

Производительность ключей послѣ продолжительныхъ засухъ, естественно, бываетъ значительно меньше опредѣляемой по приведеннымъ среднимъ значеніямъ. Парамель даетъ количество воды, даваемой въ теченіе обыкновенной засухи ключемъ въ хорошо проницаемой почвѣ изъ обломочныхъ породъ (толщ. 2 — 8 метр.), 4 литра въ минуту при области въ 5 гектаровъ, что соотвѣтствуетъ 1,33 литр. въ секунду на 1 квадр. километр. Лаутенбургъ приводитъ, какъ результатъ своихъ изслѣдованій, слѣдующія наименьшія производительности ключей, выраженныя въ литрахъ въ секунду на 1 кв. километрѣ области осадковъ.

Описаніе области ключа.	Общая проницаемость подпочвы и средній уклонъ мѣстности.								
	Сильно непроницаемая.			Проницаемая.			Весьма проницаемая.		
	Очень крут.	Среднекрутая.	Плоская.	Очень крут.	Среднекрутая.	Плоская.	Очень крут.	Среднекрутая.	Плоская.
I. Область Альповъ.									
1. Область глетчеровъ и фирноваго льда; довольно плоскія отлогости изъ горнаго мусора; рыхлая галькован почва и густо-лѣсная область (преимущественно сильно поглощающая воду почва)	1,1—2	1,3—2,7	—	1,9—3,2	2,3—3,9	—	3,4—6,4	3,5—5,47	—
2. Вспаханная земля и небольшой кустарникъ	1,50	2,08	—	2,08	2,68	—	2,68	3,27	—
3. Пастбище	1,07	1,79	—	1,80	2,50	—	2,50	3,21	—
4. Голая скала	0,36	0,72	—	0,72	1,07	—	1,07	1,43	—
II. Холмистая мѣстность и низменность.									
1. Мертвый лѣсъ; рыхлая галькован почва; каменистая или песчаная пустынная почва.	—	1,1—2,26	1,3—2,55	—	1,9—3,23	2,3—3,8	—	2,8—4,5	3,3—5,2
2. Вспаханная растительная земля, мелкій кустарникъ	—	1,70	2,20	—	2,20	2,70	—	2,70	3,18
3. Луга и пастбище . .	—	1,47	2,06	—	2,06	2,65	—	2,65	3,13
4. Голая скалистая почва (рѣдко встрѣчается на низменностяхъ) .	—	0,60	0,90	—	0,90	1,20	—	1,20	1,47

Реймъ даетъ, что на 1 гектарѣ земли въ сухое время выдѣляется 1 литръ воды въ минуту, что соотвѣтствуетъ 1,67 литр. на 1 квадр. километр. въ секунду.

Бельграндъ констатировалъ въ весьма сухомъ 1865 году количество воды въ Сенѣ при области питанія 79000 квадр. километр. въ 36,38 кубич. метр. въ секунду; такъ какъ высота дождя въ 1865 году была 500 милиметр., то отсюда получается

$$K = 0{,}00092,$$

соотвѣтственно 0,46 литр. на 1 кв. километр. въ секунду.

Всѣ эти и имъ подобныя числа даютъ только приблизительныя значенія количества остающей въ почвѣ въ жидкомъ состояніи инфильтраціи, такъ какъ условія для проникапія воды въ почву, какъ мы это видѣли выше, различны для каждаго даннаго случая, и при одинаковой площади просачиванія они опять измѣняются съ измѣненіемъ находящейся на ней растительной культуры. Эти числа, впрочемъ, иногда приносятъ пользу въ отрицательномъ смыслѣ. Такъ, напр., если въ предположеніи, что для обращенной къ дождевому вѣтру лѣсной площади около $^1/_3$ количества дождя проникаетъ въ почву, а для другихъ инфильтраціонныхъ поверхностей это количество составляетъ $^1/_8$ до $^1/_{10}$ при хорошо проницаемой подпочвѣ, было вычислено, что требуемое количество воды не получается, то по подобнымъ мѣстамъ добыванія воды можно заключить, что въ періоды засухи и преимущественно при высоко расположенныхъ инфильтраціонныхъ поверхностяхъ, эти количества воды будутъ еще меньше, такъ какъ это вычисленіе опредѣляетъ только среднее количество получаемой изъ ключей воды.

Примѣненіе этихъ чиселъ въ положительномъ смыслѣ должно быть произведено съ весьма большей осторожностью для избѣжанія весьма горькихъ разочарованій; инфильтраціонное число можетъ быть примѣнимо лишь въ томъ случаѣ, когда всѣ условія совершенно тождественны съ тѣми, при которыхъ оно получено путемъ наблюденій. Кромѣ того, ввиду чрезвычайнаго удобства и заманчивости этого способа рѣшенія подобныхъ задачъ, ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ полагаться на результаты подобныхъ вычисленій, не входя въ дальнѣйшую оцѣнку другихъ обстоятельствъ, о которыхъ будетъ изложено ниже.

Кромѣ разсмотрѣнныхъ нами факторовъ, обусловливающихъ количество остающейся въ жидкомъ состояніи инфильтраціи почвы, необходимо принять въ соображеніе еще одинъ весьма важный факторъ, а именно: водоемкость общей проницаемой подпочвы—величину подпочвеннаго водяного бассейна или резервуара грунтовой воды.

Если гдѣ нибудь имѣется почвенный покровъ, расположенный надъ не проницаемымъ слоемъ почвы, то ясно, что изъ всего количества падающихъ на почву осадковъ въ нее можетъ проникнуть лишь столько, сколько почва можетъ содержать въ себѣ. Если во время паденія на почву атмосферныхъ осадковъ почва уже насыщена водой, то осадки не могутъ уже больше проникать въ почву, а должны стекать по ея поверхности, такъ что они въ этомъ случаѣ теряются для остающейся въ почвѣ инфильтраціи, а слѣд. и для питанія ключей. Величина этой потери будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ меньше общая водоемкость омываемыхъ дождями породъ, и обратно.

Эта способность почвы содержать въ себѣ воду зависитъ отъ общаго объема подверженной инфильтраціи горной породы, отъ удѣльной водоемкости соотвѣтствующей почвы (способность всасыванія на каждый кубич. метр.) и отъ подземнаго водоспуска. Послѣдняя величина подробно будетъ нами разсмотрѣна ниже при изученіи образованія ключей. Если подъ водоемкостью въ тѣсномъ смыслѣ слова будемъ подразумѣвать способность породы насыщаться водой независимо отъ подземнаго спуска, то при ея опредѣленіи мы приходимъ къ возможности существованія подземнаго резервуара, помощью котораго устанавливается равновѣсіе между поступающею снаружи инфильтраціей почвы и истокомъ изъ ключей или источниковъ.

Въ этомъ смыслѣ возможны численныя данныя, которыя преимущественно

могутъ примѣняться для опредѣленія продолжительности дѣйствія или постоянства ключей. Чѣмъ больше водоемкость подпочвеннаго или грунтоваго резервуара, и чѣмъ медленнѣе онъ выдѣляетъ заимствованное имъ количество воды, тѣмъ постояннѣе могутъ быть выдѣляемые имъ истоки или ключи, и обратно.

Для опредѣленія способности различныхъ часто встрѣчаемыхъ каменныхъ породъ содержать въ себѣ воду, различными авторами были произведены непосредственные опыты; для этого куски испытуемыхъ матеріаловъ клали подъ водой, т. е. пропитывали водой, и затѣмъ опредѣлялось отношеніе объема заполненныхъ водой промежутковъ къ внѣшнему объему камня или почвы. Часть результатовъ этихъ опытовъ приведена въ слѣдующей таблицѣ съ указаніемъ имени автора, причемъ количества поглощаемой воды опредѣлено въ литрахъ на 1 куб. метръ породы.

Названіе породы.	Литровъ воды на 1 кубич. метр.	Имя автора, производившаго опыты.
Гранитъ весьма мелкозернистый изъ Сентъ-Анъ въ Бельгіи	0,5	Лангъ.
Гранитъ изъ Неугауза	0,6	Гауеншильдъ.
Гранитъ изъ Маутгаузена нижн. Австрія	3.6	Гауеншильдъ.
Гранитъ крупнозернистый изъ Фалькенштейна въ Оберпфальцѣ.	4,5	Лангъ.
Гранитъ со снѣжной горы при Вейсенштатѣ въ Баваріи	5,4	Берлинъ.
Гранитъ съ Корнбаха тамъ-же	5,5	Берлинъ.
Гранитъ мелкозернистый въ Таннесбергѣ, Оберпфальцъ	6,1	Лангъ.
Гранитъ съ Вильгельбсберга при Рамменѣ въ Норвегіи	7,0	Берлинъ.
Гранитъ изъ Малмо въ Швеціи	8,1	Берлинъ.
Гранитъ изъ Фредрихсгаля на Идефіордѣ	8,6	Берлинъ.
Змѣевикъ съ Неуенбурга, Оберпфальцъ	5,6	Лангъ.
Сіэнитъ изъ Вельссау въ Фихтельскихъ горныхъ кряжахъ.	4,7	Берлинъ.
Сіэнитъ изъ Белльштейна при Герборнѣ	5,0	Берлинъ.
Сіэнитъ изъ Трейтлингена, Оберпфальцъ	13,8	Лангъ.
Габбро изъ Гарцбурга	6,0	Берлинъ.
Габбро изъ Раусской долины въ Гарцѣ.	7,0	Берлинъ.
Порфиръ изъ Кракова въ Галиціи.	4,0	Берлинъ.
Обломочные порфиры изъ Вормберга (Баденъ)	6,0	Берлинъ.
Порфиръ изъ Десенгейма (въ Баденѣ)	13,0	Берлинъ.
Промежуточный порфиръ съ Вогенстрауса. Оберпфальцъ	27,5	Лангъ.
Фонолитъ съ Волькенбурга въ Зибенгебиргѣ	20,0	Берлинъ.
Фонолитъ съ Штенцельберга въ Зибенгебиргѣ	24,0	Берлинъ.
Фонолитъ съ Стокгольма въ Вестервальдѣ	35,0	Берлинъ.
Фонолитъ съ Гибельберга у Сельтера.	45,0	Берлинъ.
Базальтъ съ Вильгельмсгоге у Касселя	6,3	Берлинъ.
Базальтъ съ Гогеншлейфа у Мюндена въ Ганноверѣ	9,5	Берлинъ.
Базальтовая лава въ Гоннгебахѣ (Эйфель)	44,0	Берлинъ.
Базальтовая лава въ Прископфѣ (Эйфель)	56,0	Берлинъ.
Мраморъ изъ Каррары черный	1,1	Лангъ.
Мраморъ сѣрый, Бельгійскій	1,9	Лангъ.
Мраморъ Кararрскій черный чистый	2,2	Лангъ.
Мраморъ бѣлый со Шландера (Тироль).	5,9	Лангъ.
Глинистый сланецъ съ Герре-Раумландъ	5,4	Берлинъ.
Глинистый сланецъ съ Нассау	7,0	Берлинъ.
Кремнистый сланецъ съ Бекергая	8,5	Берлинъ.
Кремнистый сланецъ съ Винтерсберга при Клаусской долинѣ	9,0	Берлинъ.
Кремнистый сланецъ съ Катценклипенъ	9,1	Берлинъ.
Известковый шпатъ съ Пентена въ Нижней Баваріи	9,3	Лангъ.
Кремнистый сланецъ съ Беутегрунда	27,0	Берлинъ.
Кремнистый известнякъ съ Чильмака въ Ультшірѣ	28,5	Гумберъ.
Кейперскій песчаникъ съ Линна на Линнербергѣ	6,2	Берлинъ.

Названіе породы.	Литровъ воды на 1 кубич. метр.	Имя автора, производившаго опыты.
Кейперскій песчаникъ съ Маркендорфа	8,0	Берлинъ.
Каменноугольный песчаникъ, Писберъ, Оснабрюкъ	14,1	Берлинъ.
Кейперскій песчаникъ при Швебберѣ	14,4	Берлинъ.
Каменноугольный песчаникъ съ Вестгофена, Вестфалія	17,1	Берлинъ.
Каменноугольный песчаникъ, Плэцкій, въ Магдебургѣ	18,0	Берлинъ.
Каменноугольный песчаникъ, Шедеръ, Веттеръ на Рурѣ.	19,0	Берлинъ.
Пестрый песчаникъ съ долины Верра у Мюндена.	32,3	Берлинъ.
Юрскій песчаникъ съ Дейстерскихъ горъ	42,0	Берлинъ.
Юрскій песчаникъ, Обернкюрхенъ	49,0	Берлинъ.
Зеленый песчаникъ изъ Пештендорфа въ Оберпфальцѣ	54,5	Лангъ.
Юрскій песчаникъ изъ Теутобургскаго лѣса.	68,0	Берлинъ.
Песчаникъ съ Золлинга	69,0	Шюрманъ.
Песчаникъ съ Дерли-Деля въ Дербиширѣ	73,2	Гумберъ.
Песчаникъ бѣлый Мансфельдскій въ Ноттингамширѣ	92,9	Гумберъ.
Песчаникъ мелкозернистый съ Лары въ Баденѣ	93,7	Кнопъ.
Красный песчаный Мансфельдскій въ Ноттингамширѣ	104,0	Гумберъ.
Зеленый песчаникъ съ Лоштадта въ Оберпфальцѣ	108,4	Шюрманъ.
Песчаникъ Вельшскій a	124,0	Шюрманъ.
Песчаникъ Наундорфскій a.	132,0	Шюрманъ.
Песчаникъ Вельщскій b	154,0	Шюрманъ.
Песчаникъ Зеебергскій	156,0	Кнопъ.
Песчаникъ мелкозернистый съ Лары въ Баденѣ	159,0	Кнопъ.
Песчаникъ Постельвичскій b	160,0	Шюрманъ.
Песчаникъ Постельвичскій a	161,0	Шюрманъ.
Песчаникъ кейперскій съ Ирльбаха въ Оберпфальцѣ	169,4	Лангъ.
Песчаникъ красный съ Золлинга b	191,0	Шюрманъ.
Песчаникъ бѣлый съ Золлинга a.	197,0	Шюрманъ.
Песчаникъ красный съ Золлинга a	210,0	Шюрманъ.
Песчаникъ красный съ Золлинга b.	238,0	Шюрманъ.
Песчаникъ Наундорфскій b.	244,0	Шюрманъ.
Песчаникъ Небраскій I	255,0	Меркеръ.
Песчаникъ Небраскій II	263,0	Меркеръ.
Песчаникъ Небраскій III.	269,0	Меркеръ.
Песчаникъ Французскій	398,0	Меркеръ.
Доломитъ Лоуэнштейнскаго округа	15,0	Берлинъ.
Доломитъ Бользовскій въ Дербяширѣ	79,5	Гумберъ.
Доломитъ съ Пойкама, нижн. Баварія	147,0	Лангъ.
Доломитъ Брэдсвердскій въ Іоркширѣ	215,9	Гумберъ.
Доломитъ съ Перкъ-Нука, въ Іоркширѣ	221,5	Гумберъ.
Известнякъ съ Юры Маргенгагенъ въ Ганноверѣ	15,4	Берлинъ.
Известнякъ съ Юры-Бакеде въ Ганноверѣ	23,8	Берлинъ.
Известнякъ съ Юры-Шпринге въ Ганноверѣ	17,8	Берлинъ.
Известнякъ, оолитъ Портландскій въ Дорсетширѣ	136,0	Гумберъ.
Известнякъ, оолитъ Барнокскій въ Нордамтонширѣ.	142,0	Гумберъ.
Известнякъ, оолитъ Кеттонскій въ Рутландширѣ	151,0	Гумберъ.
Известнякъ, оолитъ Анкастерскій въ Линкольнширѣ	166,0	Гумберъ.
Известнякъ, оолитъ Бадскій въ Уильтширѣ	169,3	Гумберъ.
Известнякъ, щебень изъ клинчатаго камня при Регенсбургѣ	177,0	Лангъ.
Известнякъ, туфъ	202,0	Лангъ.
Известнякъ, туфъ въ Зеллингѣ	322,0	Лангъ.
Мѣлъ съ округовъ Гертсбурнъ, вершины Вушей и Миддлсексъ	144,0	Гумберъ.
Мѣлъ Кентишскій въ Миддлсексѣ (среднее изъ 3 наблюденій).	279,0	Гумберъ.
Мѣлъ съ Ландватера въ Миль-Гертсѣ, известковая порода, часто встрѣчаемая при буреніи	315,5	Гумберъ.

Названіе породы.	Литровъ воды на 1 кубич. метр.	Имя автора, производившаго опыты.
Мѣлъ съ Бушей-Гертса (среднее изъ трехъ наблюденій)	324,0	Гумберъ.
Мѣлъ съ аббатства Ленглей-Гертсъ (среднее изъ 2 наблюденій).	333,0	Гумберъ.
Мѣлъ съ Боксмуръ-Гертсъ (среднее изъ 3-хъ наблюденій) . . .	424,0	Гумберъ.
Мѣлъ съ Гравезенда, Кентъ (среднее изъ 2 хъ наблюденій). . .	429,1	Гумберъ.
Мѣлъ съ Сентъ-Альбана Гертсъ (среднее изъ 2 хъ наблюденій) .	439,0	Гумберъ.
Средній гравій съ діаметр. зеренъ меньше 7 милим.	367,0	Ренкъ.
Мелкій гравій съ діаметр. зеренъ меньше 4 милиметр.	360,0	Ренкъ.
Крупный песокъ съ діаметр. зеренъ меньше 2 милиметр. . . .	360,0	Ренкъ.
Средній песокъ съ діаметр. зеренъ меньше 1 милиметр.	396,0	Ренкъ.
Мелкій песокъ съ діаметр. зеренъ меньше $^1/_8$—$^1/_4$ милиметр. . .	420,0	Ренкъ.
Весьма глинистая почва	464,0	Вольфъ.
Мергель	475,0	Ламересс.
Почва тощая черноземная съ богатымъ содержаніемъ глинистыхъ веществъ.	481,0	Вольфъ.
Глина съ содержаніемъ хряща	525,0	Ламересс.
Почва съ Сейльской долины	550,0	Ламересс.
Тощая черноземная, весьма мелкозернистая, песчано-глинистая почва	553,0	Вольфъ.
Черная перегнойная известковая глинисто-песчаная почва . . .	568,0	Вольфъ.

Ниже мы будемъ имѣть случай оцѣнить значеніе этихъ чиселъ для подземнаго водяного хозяйства; интересующіеся болѣе подробными цифрами, могутъ найти эти свѣдѣнія въ спеціальныхъ сочиненіяхъ по этому вопросу, а также и въ отчетахъ различныхъ учрежденій и станцій для испытанія матеріаловъ, какъ, напр., Берлинской, Мюнхенской, Дрезденской Вѣнской и, т. д.

Скопляясь въ подземныхъ резервуарахъ, остающаяся въ жидкомъ видѣ инфильтрація образуетъ собой какъ бы подвальный этажъ для тѣхъ истеченій наружу, которыя разливаются и въ сухое время года въ породѣ по естественнымъ каналамъ, ведущимъ къ болѣе глубокимъ пластамъ. Эти истеченія вообще могутъ образоваться двоякимъ путемъ:

1. Инфильтраціи въ почву достигаютъ свободнаго истока подобнымъ-же образомъ, какъ и видимые, текущіе по поверхности почвы, потоки, такъ что подпочвенная атмосфера находится вездѣ надъ горизонтомъ грунтовыхъ водъ съ небольшой разностью его давленія относительно нормальнаго давленія атмосферы, и горизонтъ грунтовыхъ водъ безпрерывно подымается отъ мѣста истока во внутрь породы до тѣхъ поръ, пока онъ въ какомъ-либо мѣстѣ достигаетъ высшей точки, отъ которой получаются паденія по всѣмъ направленіямъ, или которая вообще образуетъ высшую точку всѣхъ подпочвенныхъ водохранилищъ.

2. Инфильтраціи попадаютъ въ простанство или рукавъ, окруженный со всѣхъ сторонъ непроницаемыми горными породами, и теченіе ихъ по этому рукаву происходитъ такъ-же, какъ по совершенно заполненной водой трубѣ, причемъ давленіе воды на окружающія породы получается гораздо больше, нежели нормальное давленіе атмосферы.

Въ томъ и другомъ родѣ теченій подпочвенные резервуары образуютъ собой проводники грунтовыхъ потоковъ, при чемъ, конечно, нѣтъ никакой необходимости въ томъ, чтобы структура подобнаго резервуара содержала въ себѣ одни только капиллярные промежутки.

Въ обоихъ случаяхъ эти потоки должны достигнуть какой-либо конечной точки, или собственно мѣста дѣйствительнаго истока, которое можетъ располагаться видимымъ образомъ

на поверхности почвы, образуя такъ называемые ключи, или-же она можетъ оказаться скрытой, располагаясь глубже поверхности почвы или же ниже поверхности существующихъ открытыхъ водоемовъ. Въ послѣднемъ случаѣ доставляемая подземнымъ потокомъ вода въ общежитіи извѣстна подъ названіемъ подпочвенной воды (глубокихъ источниковъ), между тѣмъ какъ въ первомъ случаѣ эта вода извѣстна подъ названіемъ ключевой воды. Въ отношеніи своего происхожденія и дальнѣйшихъ свойствъ, пріобрѣтаемыхъ водой при ея теченіи и пребываніи подъ поверхностью почвы, воды обоихъ родовъ совершенно тождественны между собой, вслѣдствіе чего раздѣленіе ихъ на двѣ отдѣльныхъ категоріи совершенно нелогично; наоборотъ, обозначеніе словомъ „ключъ“ особаго рода выхода внаружу подземнаго водяного потока представляетъ собой настолько ясное понятіе, что его нельзя изъять изъ употребленія въ смыслѣ сокращеннаго выраженія.

Что касается обозначенія двухъ различныхъ родовъ движенія грунтовой воды подъ поверхностью почвы, то движеніе воды перваго рода обыкновенно называютъ теченіемъ или потокомъ съ открытымъ (соприкасающимся съ воздухомъ) или свободнымъ уровнемъ, а движеніе втораго рода (т. е. теченіе въ рукавѣ съ непроницаемыми со всѣхъ сторонъ стѣнками) называютъ артезіанскимъ потокомъ.

Эти теченія или потоки, т. е. тѣ пути, по которымъ совершаетъ подземное движеніе остающаяся въ почвѣ инфильтрація, будутъ разсмотрѣны нами въ слѣдующей главѣ.

7. Движеніе воды подъ земной поверхностью и происхожденіе ключей.

Проникающія въ почву инфильтраціи двигались-бы вообще только по вертикальному направленію, если бы онѣ могли безпрестанно двигаться по матеріалу совершенно однородныхъ качествъ; но два обстоятельства, какъ мы это видѣли выше, измѣняютъ видъ этого движенія, а именно: измѣненіе проницаемости породы (при чемъ необходимо принять въ соображеніе какъ проницаемость породы саму по себѣ, такъ и вліяніе трещинъ), и положеніе поверхности существующихъ уже грунтовыхъ водъ. Если притекающая сверху инфильтрація попадаетъ на непроницаемый или, въ сравненіи съ водоноснымъ слоемъ, мало проницаемый слой, или-же на поверхность грунтовыхъ водъ, то она въ этомъ мѣстѣ уклоняется отъ своего начальнаго направленія, направляясь по новому уже пути; конечнымъ результатомъ этого уклоненія постоянно является соединеніе ея съ находящимися на поверхности почвы открытыми водоемами. Если-бы существовали такія условія, при которыхъ часть инфильтраціи не направлялась-бы по этому пути для соединенія съ открытыми водоемами, то должно было-бы происходить безпрерывное уменьшеніе количества находящейся на земной поверхности воды, и дѣйствительно произошло-бы уже въ теченіе тысячелѣтій. Въ подобномъ случаѣ неизбѣжно было-бы постоянное высыханіе рѣкъ, озеръ и морей, которое было-бы весьма замѣтно за длинные періоды времени, но которое, между тѣмъ, какъ извѣстно, не можетъ быть констатировано.

Причина видимаго или невидимаго появленія подпочвенной воды (образованія ключа) состоитъ въ существованіи приблизительно постояннаго подземнаго водохранилища или въ существованіи какого-нибудь непроницаемаго (мало проницаемаго) слоя; если-же въ свою очередь прослѣдить происхожденіе постоянно существующаго подземнаго водохранилища, то послѣдняя причина можетъ считаться единственной. Непроницаемый слой въ связи съ горной породой можетъ простираться на болѣе или менѣе значительныя разстоянія, и его протяженіе обусловливаетъ собой мощность водохранилища. Истокъ изъ подстилающаго слоя обусловливается величиной ведущаго къ дневной поверхности выпускнаго канала, наклономъ поверхности грунтовыхъ водъ относительно послѣдняго (или также наклономъ непроницаемаго слоя относительно горизонта) и количествомъ остающейся въ почвѣ инфильтраціи; рельефъ или очертаніе непроницаемаго слоя приблизительно опредѣляетъ характеръ движенія образующихся надъ нимъ грунтовыхъ водъ и различныя положенія грунтоваго горизонта при различныхъ стадіяхъ этого движенія. Конфигурація непроницаемаго слоя, какъ мы видѣли

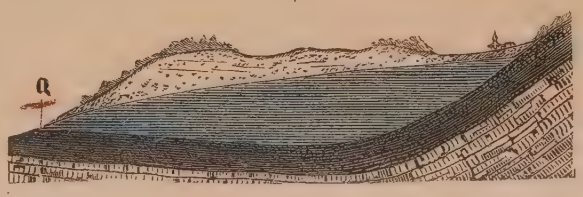
выше, можетъ быть такова, что получаемые на поверхности почвы топографическіе водораздѣлы ни въ какомъ случаѣ не могутъ опредѣлять собой величину инфильтраціи, служащей для питанія даннаго опредѣленнаго истока грунтовой воды; весьма большое число подобныхъ истоковъ, преимущественно самые мощные изъ нихъ, получаютъ свое питаніе отъ каналовъ, развѣтвляющихся подъ землей на сотни километровъ и проходящихъ черезъ нѣсколько различныхъ топографическихъ водораздѣловъ.

Затѣмъ непроницаемыя части материковъ могутъ быть сложены самымъ разнообразнымъ образомъ, образуя замкнутыя со всѣхъ сторонъ водохранилища, въ которыхъ хотя и существуетъ движеніе воды, но одновременно съ этимъ вода оказываетъ давленіе на окружающую ее оболочку; подобныя условія могутъ существовать какъ на короткихъ протяженіяхъ, такъ и въ весьма значительныхъ областяхъ — и могутъ подъ землей перейти въ такія, при которыхъ горизонтъ подпочвенныхъ водъ вездѣ находится только подъ атмосфернымъ давленіемъ, и т. д. Можетъ также случиться, что подъ непроницаемымъ слоемъ, образующимъ русло или постель грунтоваго потока, въ дальнѣйшихъ формаціяхъ опять происходитъ скопленіе воды, которая слѣдуетъ по собственному пути надъ другимъ, глубже расположеннымъ, непроницаемымъ слоемъ, проникая или подымаясь въ щеляхъ горныхъ породъ и приходя такимъ образомъ въ особое сообщеніе съ истокомъ грунтовыхъ водъ. Такимъ образомъ происходятъ самыя разнообразныя комбинаціи, которыя тѣмъ не менѣе исключительно вытекаютъ изъ внѣшнихъ и внутреннихъ условій данной мѣстности.

Наконецъ, зависимость между подпочвенной и поверхностной водой можетъ быть такова, что вмѣсто предположеннаго до сихъ поръ естественнаго конечнаго изливанія инфильтраціи въ открытыя водохранилища на сравнительно короткихъ разстояніяхъ, происходитъ обратное явленіе, при которомъ отдѣльные ключи или истоки подпочвенныхъ водъ большею частью своей производительности обязаны просачиванію рѣчной воды или воды изъ ручьевъ. Нѣкоторые ручьи и рѣки совершенно или частью постепенно теряются въ пескахъ или галькахъ или внезапно исчезаютъ въ провалы и пропасти. Воды оставляютъ свои открытые пути для того, чтобы начать двигаться по подземнымъ путямъ и опять появляться въ видѣ ключей иногда на протяженіи въ нѣсколько только километровъ; иногда-же начатое такимъ образомъ подземное теченіе бываетъ весьма длиннымъ и сложнымъ и въ нерѣдкихъ случаяхъ направляется къ морю. На этихъ подземныхъ путяхъ рѣчныя воды подвергаются естественной фильтраціи и обнаруживаются въ видѣ совершенно чистыхъ ключей.

Разсмотримъ нѣсколько ближе ходъ этихъ явленій.

Простѣйшія условія будутъ тѣ, при которыхъ остающаяся въ жидкомъ состояніи инфильтрація встрѣчаетъ непроницаемый слой, выходящій на дневную поверхность на склонѣ долины, такъ что если съ увѣренностью можно принять, что на всемъ протяженіи данной области не происходитъ просачиванія грунтовой воды вглубь, то можно весьма явственно различить границу между проницаемымъ и непроницаемымъ слоемъ (ф. 5). Въ этомъ случаѣ между инфильтраціей въ почву и истокомъ установится нѣкоторое состояніе равновѣсія на слѣдующихъ основаніяхъ:



Фиг. 5.

1. Вся заключенная въ подобной замкнутой области просачиваяющаяся въ почву или сгущаемая въ ней вода, сама по себѣ въ почвѣ не расходуемая и не переходящая въ другое физическое состояніе, съ теченіемъ времени должна выступать изъ ключей Q (ф. 5). Если истоки Q подпочвенной воды будутъ больше постояннаго пополненія запаса путемъ инфильтраціи въ почву, то они могутъ поддерживаться только до совершеннаго опорожненія подпочвеннаго резервуара; если-же истоки подпочвенной воды меньше притока съ площади инфильтраціонной области то съ теченіемъ времени произойдетъ переполненіе подпочвеннаго

резервуара, т. е. инфильтрація въ почву пріостановится—или-же образуются новые истоки для возстановленія состоянія равновѣсія.

2. Это явленіе не слѣдуетъ непремѣнно связывать съ соотвѣтствіемъ между общей высотой осадковъ надъ данной областью и производительностью ключей Q. Если подпочвенный резервуаръ незначителенъ (напр., если надъ непроницаемымъ слоемъ расположенъ проницаемый слой небольшой мощности), то продолжительные безпрерывные дожди вызовутъ весьма ограниченную инфильтрацію въ почву, т. е. въ продолженіи длинныхъ безпрерывныхъ періодовъ осадковъ проницаемый слой обратится въ насыщенный водой непроницаемый покровъ. Въ подобномъ случаѣ менѣе продолжительные, но частые осадки, общая высота которыхъ даже значительно меньше, могутъ образовать болѣе значительную общую сумму подпочвенныхъ истоковъ, нежели продолжительные безпрерывные дожди значительной общей высоты. При достаточно большихъ подпочвенныхъ резервуарахъ, наоборотъ, будетъ существовать упомянутое соотвѣтствіе между высотой осадковъ и производительностью ключей (со включеніемъ, конечно, поглощенія растительностью).

3. Подпочвенные истоки обнаруживаютъ временныя колебанія, которыя бываютъ тѣмъ больше, чѣмъ легче вода можетъ стекать съ расположенной надъ непроницаемымъ слоемъ пористой породы, и обратно. Если проникающая въ почву отъ продолжительнаго безпрерывнаго смачиванія ея поверхности вода быстро достигаетъ сообщающейся съ истокомъ системы щелей, то она стекаетъ въ теченіи весьма короткаго времени послѣ прекращенія смачиванія поверхности почвы, и при наступленіи засухи скопленный въ почвѣ запасъ воды будетъ незначителенъ, такъ какъ вода не скоплятся въ щеляхъ, вслѣдствіе чего только небольшія массы породъ могутъ насыщаться водой. Если, наоборотъ, пути, ведущіе къ ключамъ и образующіе стоки подпочвенныхъ водъ, тѣсны, то та часть остающейся въ почвѣ инфильтраціи, которая не могла стечь при обильномъ притокѣ сверху, теперь будетъ насыщать водой пористыя массы породъ и скоплять такимъ образомъ запасъ воды, постоянное истеченіе которой обезпечиваетъ въ сухое время существованіе ключей.

4. При прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ продолжительность истеченія подпочвенныхъ водъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ глубже горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ подъ поверхностью земли, и чѣмъ труднѣе происходитъ просачиваніе воды отъ поверхности земли до горизонта грунтовыхъ водъ. Если затѣмъ принять во вниманіе, что подъ продолжительностью истеченія слѣдуетъ понимать сохраненіе или продолженіе истока по наступленіи засухи, то сдѣлается понятнымъ, что образуемая послѣднимъ смачиваніемъ поверхности почвы инфильтрація тѣмъ медленнѣе обнаружится въ видѣ ключа, чѣмъ больше времени она употребитъ для проникапія къ горизонту грунтовыхъ водъ; даже болѣе продолжительная засуха въ подобномъ случаѣ не въ состояніи очень быстро уменьшить производительность ключа, такъ какъ еще долгое время послѣ послѣдняго дождя питающія грунтовый потокъ инфильтраціи находятся въ пути, черезъ что постоянно пополняются запасы въ почвѣ.

Весьма ясное представленіе о происходящемъ здѣсь явленіи можно получить, представляя себѣ, что выпускной каналъ замѣненъ трубой. Если черезъ L означимъ длину и черезъ D внутренній діаметръ трубы, представляющей такое-же сопротивленіе движенію какъ и естественный выпускной каналъ, то для пропусканія черезъ этотъ каналъ количества воды Q требуется совершенно опредѣленная высота напора H. Для того, чтобы на дневную поверхность въ данной мѣстности выходило количество Q воды, уровень грунтовыхъ водъ въ почвѣ (въ системѣ

ея щелей) долженъ быть расположенъ выше данной мѣстности на эту именно высоту H; между упомянутыми величинами существуетъ зависимость (см. отд. IV гл. 16):

$$1)\ H = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5},$$

откуда получается

$$2)\ Q = c\sqrt{H},$$

гдѣ $c = \sqrt{\frac{D^5}{\lambda L}}$ представляетъ собой величину, сохраняющую свое значеніе при всякомъ измѣненіи уровня подпочвенной воды. При этомъ, конечно, давленіе атмосферы въ началѣ ключа принято равнымъ давленію воздуха въ почвѣ.

Отсюда можно заключить, что при постоянномъ пониженіи уровня грунтовыхъ водъ внутри материка происходитъ постоянное уменьшеніе количества даваемой воды Q, и обратно. Но это увеличеніе или уменьшеніе количества воды не происходитъ въ прямомъ отношеніи къ увеличенію или уменьшенію высоты напора H. Если, напр., напоръ H уменьшается до $^1/_2$ начальнаго напора, то получимъ $Q = c\sqrt{\frac{H}{2}} = 0{,}7\, c\sqrt{H}$, т. е. количество воды, даваемой ключемъ, въ этомъ случаѣ будетъ не половина, а 0,7 начальнаго количества. Если рабочая высота напора уменьшилась до $^1/_{10}$ начальной своей величины, то количество воды составляетъ около $^1/_3$ первоначальнаго количества ея, а когда рабочая высота напора увеличилась вдвое противъ начальнаго ея значенія, то получаемъ $Q = c\sqrt{2H} = 1{,}4\, c\sqrt{H}$, т. е. въ этомъ случаѣ выпускной каналъ даетъ не двойное количество воды, а только нѣсколько меньше полуторнаго начальнаго количества. Отсюда видно, что при значительныхъ измѣненіяхъ уровня воды въ находящемся внутри почвы резервуарѣ производительность ключа колеблется въ сравнительно тѣсныхъ предѣлахъ.

Что-же касается самой величины производительности, то мы видимъ, что діаметръ трубы играетъ при этомъ весьма важную роль. Предполагая, напр., постоянную высоту напора и принимая ширину канала, соотвѣтствующую двойному начальному діаметру трубы, получаемъ новый коэффиціентъ пропорціональности въ этомъ случаѣ

$$c' = \sqrt{\frac{2^5 D^5}{\lambda L}} = 5{,}31\, c,$$

т. е. подобный каналъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, будетъ давать въ 5 разъ больше воды, и т. д. Длина подземнаго канала, наоборотъ, имѣетъ весьма несущественное вліяніе на количество воды. Если, напр., длина составляетъ $^1/_2$ начальной длины, то при той-же величинѣ D получаемъ $c' = 1{,}4\, c$, т. е. производительность будетъ не вдвое, а только меньше, чѣмъ въ $1^1/_2$ раза больше начальной; при увеличеніи длины канала L вдвое количество воды уменьшится не вдвое, а только до 0,7 начальнаго, и т. д.

Хотя это вычисленіе, вслѣдствіе многихъ упрощающихъ предположеній, не можетъ претендовать на болѣе или менѣе значительную степень точности, но тѣмъ не менѣе оно намъ показываетъ, что дѣйствительно происходящее теченіе приблизительно подходитъ къ вычисленному. Поэтому можно констатировать, что:

5. Колебанія уровня подпочвенныхъ водъ имѣютъ вліяніе на производительность ключа. При ограниченныхъ колебаніяхъ уровня вліяніе ихъ весьма незначительно, и въ подобномъ случаѣ истокъ подпочвенныхъ водъ можетъ быть разсматриваемъ приблизительно какъ постоянный; даже при значительныхъ разницахъ между высшимъ и низшимъ уровнемъ воды это вліяніе будетъ тоже не особенно значительно. При прочихъ совершенно одинаковыхъ условіяхъ вліяніе длины сточнаго канала на количество истекающей воды и соотвѣтственно быстрое опоражниваніе подпочвеннаго водохранилища весьма быстро возрастаетъ съ увеличеніемъ ширины канала.

Факты вполнѣ согласуются съ приведенными выше соображеніями.

Всякій образующійся разсмотрѣннымъ образомъ ключъ обнаруживаетъ колебанія въ обиліи даваемой имъ воды, или другими словами, нѣтъ такого рода

ключей, которые не обнаруживали-бы этихъ колебаній. Если выпускные или сточные каналы для проникающихъ во внутрь почвы инфильтрацій съ ея поверхности слишкомъ велики, то просочившаяся въ почву вода быстро подводится къ ключу, и наполненія подпочвеннаго резервуара вовсе не происходитъ или происходитъ въ весьма незначительной степени; въ подобныхъ случаяхъ при продолжительной засухѣ производительность ключа можетъ уменьшиться до нуля, и тѣмъ легче, чѣмъ быстрѣе инфильтрація совершаетъ свой путь къ непроницаемому слою или къ горизонту грунтовыхъ водъ. При этихъ условіяхъ инфильтраціи недостаточно очищаются и профильтровываются, и вслѣдствіе кратковременнаго ихъ пребыванія подъ поверхностью земли температура ихъ измѣняется весьма мало въ сравненіи съ начальной температурой, при которой онѣ проникли въ почву. Количество даваемой такими ключами грунтовыхъ водъ не постоянно, такъ какъ истоки часто прекращаются, и кромѣ того вода обнаруживаетъ (не измѣняясь отъ фильтрованія) свою связь со смоченною поверхностью почвы часто появляющеюся мутью, а также и тѣмъ, что въ холодное время года она холодна, а въ теплое она тепла. Если-же, наоборотъ, каналы для выпуска инфильтраціи на дневную поверхность малы, то во время обильнаго смачиванія поверхности почвы подпочвенный резервуаръ быстро наполняется водой, такъ какъ даже замѣтное подыманіе и скопленіе воды въ щеляхъ породъ не можетъ сильно увеличить истокъ изъ ключа. Скопленная такимъ образомъ вода насыщаетъ поры горныхъ породъ, и при продолжительной засухѣ, а, слѣд., въ началѣ пониженія уровня грунтовыхъ водъ, медленно выходитъ изъ поръ, наполняя щели. При сравнительно долговременномъ пребываніи воды подъ поверхностью почвы или въ нѣдрахъ земли въ ней происходитъ естественный обмѣнъ теплоты, и она принимаетъ температуру, тѣмъ болѣе близкую къ средней температурѣ подпочвы, чѣмъ больше времени проходитъ между ея поступленіемъ сверху и истеченіемъ изъ ключа. Такъ какъ увлекаемая инфильтраціей съ поверхности земли муть при долгомъ пребываніи воды въ почвѣ можетъ отдѣляться отъ нея, то получаемая изъ ключей подпочвенная вода будетъ совершенно чиста и прозрачна. Такимъ образомъ подобные ключи при небольшихъ колебаніяхъ производительности обнаруживаютъ также небольшія колебанія температуры воды и даютъ постоянно чистую воду.

Послѣ всего сказаннаго едва-ли слѣдуетъ прибавить, что отъ соотвѣтствующаго уширенія сточныхъ каналовъ ключи могутъ потерять эти свои хорошія качества, и нѣтъ недостатка въ примѣрахъ, при которыхъ неумѣлыя распоряженія въ этомъ направленіи обратили постоянные ключи въ непостоянные, производительность которыхъ по временамъ бываетъ приведена къ нулю (дренажи). На этомъ основано справедливо существующее предубѣжденіе противъ уширенія обдѣлокъ небольшихъ ключей, такъ какъ, по взгляду опытныхъ лицъ, отъ такого уширенія ключи „теряютъ воду“. Впрочемъ, мы еще вернемся къ этому предмету въ слѣдующемъ отдѣлѣ II.

О той роли, какую играютъ при образованіи ключей свойства породы, расположенной надъ непроницаемымъ слоемъ, будетъ сказано ниже. Разсмотримъ сперва вліяніе водоемкости различныхъ породъ, которое вполнѣ выясняется примѣненіемъ приведенной въ предыдущей главѣ таблицы.

Вообразимъ себѣ поверхность мѣстности въ 1 квадр. километръ, подъ которой расположенъ пористый лежащій на непроницаемой почвѣ слой горной породы мощностью, допустимъ, въ 20 метровъ, и въ немъ горизонтъ подпочвенныхъ водъ въ началѣ нашихъ вычисленій достигаетъ равномѣрной высоты въ 10 метр. надъ непроницаемымъ слоемъ. Предположимъ, что на данной поверхности въ теченіи 20 дней толщина слоя осадковъ составляетъ 5 сантиметр., и что равномѣрный истокъ къ ключу, а также и равномѣрно заполняемый объемъ

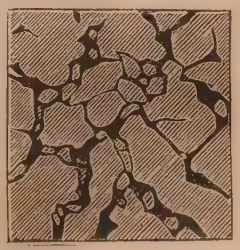
системы щелей составляетъ 400 куб. метр. въ день, при одинаковой системѣ щелей для каждой разсматриваемой породы. Если затѣмъ пористый слой состоитъ, напр., изъ Золлингскаго песчаника, объемъ поръ котораго соотвѣтствуетъ приведенному въ предыдущей таблицѣ (см. гл. 6), то эта порода насытится водой на толщу $\delta = \frac{1000.1000.0{,}05 - 20.400}{1000.1000} \cdot \frac{100}{69} = 0{,}6$ метр., т. е. горизонтъ подпочвенныхъ водъ подымется на эту именно высоту, такъ что вмѣсто рабочей высоты напора въ 10 метр. получится высота въ 10,6 метр. Но эта разница въ высотѣ напора будетъ имѣть весьма незамѣтное вліяніе на количество выдѣляемой ключемъ грунтовой воды. Если, наоборотъ, верхній слой породы состоитъ изъ мрамора, въ которомъ объемъ поръ соотвѣтствуетъ приведенному на предыдущей таблицѣ для Каррарскаго мрамора, то при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ высота подъема горизонта подпочвенной воды въ этомъ случаѣ будетъ $\frac{1000.1000.0{,}05 - 20.400}{1000.1000} \cdot \frac{1000}{2,2} = 19{,}1$ метр., т. е. въ этомъ случаѣ подпочвенный резервуаръ вообще не въ состояніи принять въ себя инфильтрацію. При равномѣрныхъ осадкахъ уже по истеченіи 10 дней подземный резервуаръ будетъ насыщенъ водой до поверхности почвы, и начиная съ этого момента, почва можетъ воспринимать въ себя только такое количество воды, которое соотвѣтствуетъ истоку изъ ключа, а остальное-же количество воды будетъ стекать по поверхности точно такъ-же, какъ и въ случаѣ непроницаемой почвы.

Такъ какъ при разсмотрѣніи этого явленія необходимо имѣть въ виду, что горныя породы съ сравнительно небольшимъ объемомъ поръ вообще трудно проникаются водой, то это обстоятельство дѣлаетъ условія для мрамора еще болѣе неблагопріятными. Точно такія-же условія мы имѣемъ при всякой другой трудно проницаемой почвѣ съ небольшимъ объемомъ поръ, и обратно.

Разсмотримъ теперь вліяніе пониженія поверхности горизонта подпочвенныхъ водъ, считая отъ извѣстнаго опредѣленнаго его положенія, послѣ прекращенія притока инфильтраціи сверху. Объ этомъ явленіи мы не можемъ сдѣлать себѣ такое простое представленіе, какъ о предыдущемъ. Въ этомъ случаѣ сперва понижается уровень воды въ трещинахъ и щеляхъ, и интенсивность притока изъ волосныхъ скважинъ породы будетъ уменьшаться пропорціонально этому пониженію. Вообще при небольшомъ отношеніи объема поръ къ объему всей массы истеченіе будетъ незначительно, и наоборотъ; при этомъ оно еще зависитъ отъ способа растрескиванія породы, и при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ количество изливающейся воды будетъ тѣмъ больше, чѣмъ мельче отдѣльныя части, изъ которыхъ состоитъ порода, и обратно Количество воды, вытекающей изъ ключа, будетъ уменьшаться тѣмъ быстрѣе, чѣмъ меньше будетъ интенсивность притока изъ поръ; вычисленіе всѣхъ этихъ соотношеній можетъ быть произведено слѣдующимъ путемъ.

Допустимъ, что въ какой-нибудь области источника, при опредѣленной горизонтальной проекціи общаго поперечного сѣченія всѣхъ щелей и при опредѣленномъ наивысшемъ горизонтальномъ уровнѣ воды. H_0 надъ горизонтально расположеннымъ непроницаемымъ слоемъ, изъ ключа вытекаетъ опредѣленное наибольшее количество воды Q_0. Допустимъ кромѣ того, что горизонтальная проекція F остается одинаковой и при дальнѣйшемъ пониженіи уровня воды. Тогда по ур. 2) получаемъ

$$Q_0 = c\sqrt{H_0}, \quad Q = Q_0\sqrt{\frac{H}{H_0}}.$$



Фиг. 6.

Если черезъ φ обозначимъ отношеніе объема поръ къ объему всей массы пористой породы, то притокъ къ щелямъ въ простѣйшемъ случаѣ можетъ быть принятъ пропорціональнымъ величинѣ φ и обратно пропорціональнымъ пониженію h уровня воды (ф. 7). Такъ какъ притокъ будетъ тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ сильнѣе растрескана порода, потому что въ этомъ случаѣ содержащаяся въ каждомъ отдѣльномъ кускѣ породы вода должна пройти болѣе короткій путь до своего истока въ щель, и такъ какъ длина щелей можетъ быть выражена ве-

личиной $\frac{F}{b}$, гдѣ b выражаетъ среднюю ширину щели [1]), то притокъ будетъ также пропорціоналенъ величинѣ $\frac{F}{b}$. Если уровень воды въ элементъ времени dt понижается на величину dh, то притокъ изъ пропитанныхъ или насыщенныхъ водой поръ будетъ:

$$q \cdot dt = k \cdot \varphi \cdot \frac{F}{b} \cdot dh,$$

гдѣ k изображаетъ эмпирическій коэффиціентъ, выражающій собой количество воды, выдѣляемой вполнѣ насыщенной породой на каждый квадр. метръ свободной вертикальной площади истеченія.

Фиг. 7.

Количество воды, истекающей изъ ключа въ элементъ времени dt, будетъ равно суммѣ изъ этого притока и того количества воды $F \cdot dh$, которая выдѣляется изъ щелей. Такимъ образомъ мы имѣемъ:

$$Q \cdot dt = F \cdot dh + \frac{k \cdot \varphi}{b} F \cdot dh = \left(1 + \frac{k\varphi}{b}\right) F \cdot dh.$$

Изъ чертежа (фиг. 7) видно, что $h = H_0 - H$, такъ что $dh = -dH$, откуда получаемъ:

$$3)\quad Q \cdot dt = -\left(1 + \frac{k\varphi}{b}\right) F \cdot dH;$$

связывая это уравненіе съ вышенайденнымъ значеніемъ для Q, получаемъ:

$$dt = -\frac{\left(1 + \frac{k\varphi}{b}\right) F \sqrt{H_0}}{Q_0} \cdot \frac{dH}{\sqrt{H}}.$$

Интегрируя это уравненіе, получаемъ:

$$t = \frac{2\left(1 + \frac{k\varphi}{b}\right) F \sqrt{H_0}}{Q_0} \left(\sqrt{H_0} - \sqrt{H}\right),$$

гдѣ $t = o, H = H_0, t = t$ и $H = H$ представляютъ собой соотвѣтствующія между собой значенія. Изъ послѣдняго интегральнаго уравненія слѣдуетъ:

$$\sqrt{H} = \sqrt{H_0} - \frac{b\, Q_0\, t}{2\,(b + k\varphi)\, F \sqrt{H_0}}.$$

Подставивъ это значеніе въ найденное по ур. 2) равенство $Q = Q_0 \sqrt{\frac{H}{H_0}}$, получаемъ

$$4)\quad Q = Q_0 \left(1 - \frac{b\, Q_0\, t}{2\,(b + k\varphi)\, F\, H_0}\right).$$

Изъ этихъ уравненій видно, что для опредѣленнаго промежутка времени t количество воды изъ ключа будетъ измѣняться тѣмъ меньше, чѣмъ меньше будутъ величины Q_0 и b, и чѣмъ больше величины $F \cdot H_0, k$ и φ. Вытекающее количество воды обратится въ нуль, когда выраженіе правой части уравненія въ скобкахъ обратится въ нуль, т. е. при

$$t = \frac{2\,(b + k\varphi)\, F\, H}{b\, Q_0}.$$

Подобное уменьшеніе притока невозможно, пока $\frac{b\, Q_0\, t}{2\,(b + k\varphi)\, F\, H_0} < 1$; такимъ образомъ если Q_0, т. е. наибольшее количество вытекающей изъ ключа воды, достаточно мало, то при всѣхъ обстоятельствахъ постоянство ключа будетъ обезпечено.

Для всѣхъ породъ съ незначительнымъ объемомъ поръ величина φ имѣетъ значеніе небольшой дроби; въ этомъ случаѣ значеніе величины $b + \varphi k$ все больше и больше приближается къ значенію b, откуда ясно видно, что въ подобныхъ породахъ постоянство ключа съ опредѣленной производительностью оказывается зависимымъ исключительно отъ содержанія воды въ системѣ щелей. Но даже въ очень пористыхъ породахъ содржаніе воды въ щеляхъ

[1]) На ф. 6 поперечное сѣченіе щелей изображено чернымъ, а плотная масса — заштрихованной.

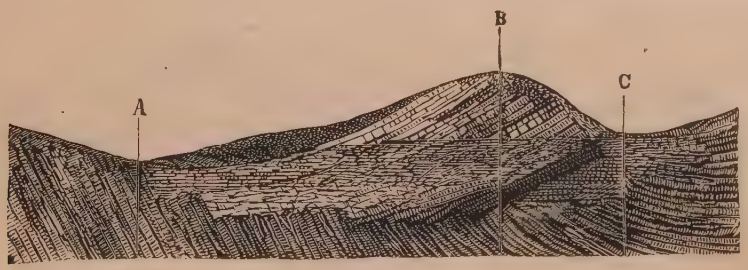
и трещинахъ играетъ весьма важную роль, такъ какъ и въ этихъ случаяхъ значеніе величины $b + k\varphi$ немного будетъ отличаться отъ значенія величины b.

Бываютъ извѣстныя горныя породы, какъ напр., гранитъ, гнейсъ, глинистый сланецъ и т. под. которыя сами по себѣ трудно проницаемы для воды и которыя трудно пропитываются водой. Въ подобныхъ породахъ объемъ сообщающихся между собой щелей и трещинъ всегда весьма малъ; такъ какъ эти породы вслѣдствіе ихъ свойствъ весьма непроницаемы, то безпрерывные истоки грунтовой воды могутъ явиться только тамъ, гдѣ существуютъ весьма небольшія поперечныя сѣченія истоковъ. Поэтому въ подобныхъ породахъ постоянные ключи даютъ весьма небольшія количества воды; при недостаткѣ сообщенія между отдѣльными щелями или трещинами въ породѣ могутъ существовать близко другъ отъ друга различныя сборныя области, и при такихъ обстоятельствахъ число отдѣльныхъ ключей иногда бываетъ довольно значительно. Если только одинъ ключъ въ подобной породѣ даетъ значительныя количества воды, то можно съ увѣренностью предполагать, что эти количества воды до ея истока скопляются въ другихъ формаціяхъ.

Болѣе благопріятныя условія для появленія на дневную поверхность безпрерывныхъ и большихъ количествъ воды существуютъ въ пластовыхъ формаціяхъ, преимущественно въ сильно трещиноватыхъ породахъ значительной мощности. Въ подобныхъ породахъ величины F и H_0 имѣютъ весьма большія значенія, вслѣдствіе чего истеченіе изъ ключей не прекращается и послѣ продолжительной засухи, если только поперечное сѣченіе истока или ведущаго къ дневной поверхности канала не слишкомъ велико.

Наиболѣе благопріятныя условія для образованія ключей образуютъ сплошныя песчаныя и хрящеватыя массы, въ которыхъ число промежутковъ между отдѣльными зернами достигаетъ необыкновенно большой величины, причемъ объемъ FH_0 имѣетъ наибольшую величину.

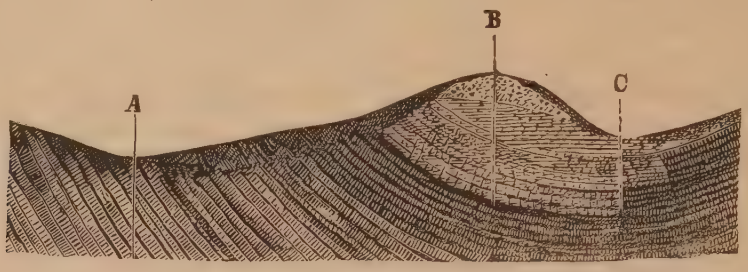
Чрезвычайное разнообразіе появленія ключей и многія кажущіяся противорѣчія съ изложенными основными взглядами объясняются неправильнымъ положеніемъ непроницаемаго слоя и часто связанной съ нимъ извилистой формой каналовъ для стока подпочвенной воды; очень часто появленіе ключей не происходитъ потому, что подпочвенная вода выступаетъ не по замкнутому каналу, а является изъ большого числа щелей и трещинъ въ видѣ небольшихъ водяныхъ струекъ и проч., между тѣмъ какъ всѣ остальныя условія данной области весьма



Фиг. 8.

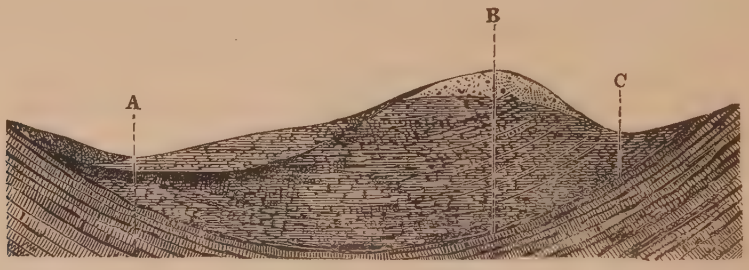
благопріятны для образованія стока подпочвенныхъ водъ. Возможность появленія постояннаго и обильнаго ключа при почти непроницаемой области и при общемъ видѣ мѣстности, какъ на ф. 8, находится въ кажущемся только противорѣчіи съ изложенными выше соображеніями. Здѣсь черезъ щели, выходящія на дневную поверхность при A, выступаетъ вода, берущая свое начало изъ

выше расположенныхъ сборовъ въ пористой породѣ, въ которую она просачивается при *B* и *C*. Если-же, наоборотъ, внутри горы существуютъ условія, изображенныя на ф. 9, то въ *A* никакого ключа не будетъ, а въ *C* появится ключъ



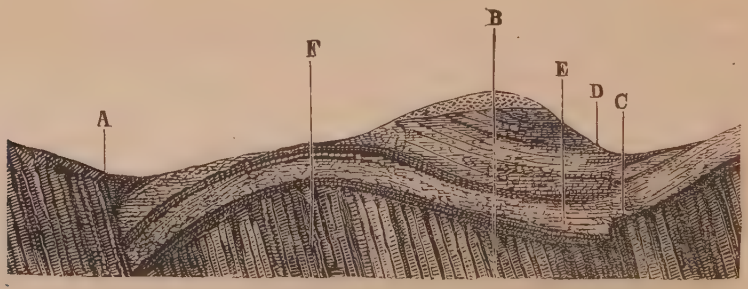
Фиг. 9.

съ нормальнымъ количествомъ воды. Если, какъ на фиг. 10 непроницаемые слои расположены такъ, что они проходятъ не черезъ весь массивъ горы, а только черезъ часть его, то при *A* никакого ключа не обнаружится, а появится цѣлая масса маленькихъ водяныхъ струй, образующихъ въ этой мѣстности болото; при *C*, наоборотъ, появится ключъ.



Фиг. 10.

Непроницаемые слои внутри материка могутъ быть изогнуты и искривлены такъ, что допускаютъ образованіе ключей, появленіе которыхъ невозможно себѣ объяснить исключительно только путемъ наблюденій на поверхности почвы. Такъ, напр. при изображенномъ на фиг. 11 напластованіи породы въ точкахъ *A*, *F*, *E*, *D* и *C*,

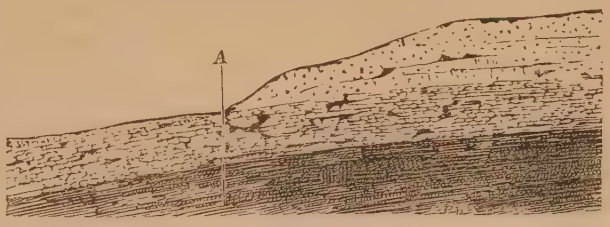


Фиг. 11.

необходимо должны появляться ключи, изъ коихъ наиболѣе сильные будутъ въ *A* и *C*, а ключи въ *F*, *E* и *D* будутъ уже слабѣе, и т. д. Ключи *A* и *C* представляютъ собой идущіе изъ нѣдръ жильные ключи или ключи, направляющіеся по щелямъ породы; ключъ *F* представляетъ собой сливной ключъ, постоянство котораго зависитъ отъ большаго или меньшаго насыщенія лежащей ниже *B* пористой породы, между тѣмъ какъ ключи *D* и *E* обра-

зуются наслойками болѣе плотнаго матеріала и тотчасъ-же высыхаютъ при пониженіи горизонта грунтовыхъ водъ ниже этихъ точекъ. Необходимо здѣсь замѣтить, что въ приведенныхъ нами четырехъ случаяхъ наружное очертаніе почвы одинаково, такъ что существенная разница вида и расположенія ключей объясняется только разницей внутренняго напластованія слоевъ.

Хотя вообще для образованія ключей необходимо требуется существованіе на извѣстной глубинѣ непроницаемаго слоя почвы, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ для прохода воды на дневную поверхность достаточна сильная трещиноватость или значительное уменьшеніе поперечнаго сѣченія въ той-же породѣ, которая лежитъ надъ непроницаемымъ слоемъ (ф. 12). Структура всякой каменной породы представляется безконечно разнообразной. Если въ какомъ-нибудь мѣстѣ сѣть проходовъ для воды настолько расширена, что вода можетъ выступить на дневную поверхность (напр., въ точкѣ *A*) съ меньшимъ расходомъ напора, нежели какой требуется для дальнѣйшаго ея движенія по породѣ, то само собой разумѣется, что вода отчасти выберетъ себѣ первый путь. Вся находящаяся въ движеніи грунтовая вода ни въ какомъ случаѣ не въ состояніи будетъ выйти наружу; какая часть притекающей къ *A* подпочвенной воды будетъ продолжать дальнѣйшее свое движеніе по породѣ—будетъ зависѣть отъ существующаго тамъ избытка высоты напора и имѣющагося въ распоряженіи поперечнаго сѣченія для дальнѣйшаго ея движенія (при чемъ весьма важна, какъ величина этого поперечнаго сѣченія, такъ и степень шероховатости ея периметра).



Фиг. 12.

Ключи подобнаго рода бываютъ постоянные и непостоянные. Первые образуются тогда, когда во всякое время поперечное сѣченіе надъ *A* оказывается недостаточнымъ для прохода воды; вторые-же появляются только въ тѣ періоды времени, когда грунтовый потокъ несетъ необыкновенно громадныя количества воды. Они извѣстны подъ названіемъ перемежающихся ключей, Майскихъ ключей и перемежниковъ или голодныхъ ключей; послѣднее названіе присвоено части этихъ ключей потому, что ихъ образованію предшествуютъ продолжительные и сильные дожди, имѣющіе своимъ послѣдствіемъ—по крайней мѣрѣ въ среднихъ климатахъ—неурожайный или голодный годъ.

Между перемежающимися ключами бываютъ такіе, которые появляются только въ извѣстныя времена года, и такіе, которые даютъ грунтовую воду только впродолженіе извѣстныхъ періодовъ времени, будь это дни или часы. Иногда причина перемежаемости ключа объясняется не вышеприведенными условіями, а скопленіемъ воздуха или вообще газовъ въ сточныхъ каналахъ разницей давленія подпочвеннаго воздуха и атмосфернаго давленія въ самомъ ключѣ, сифонообразнымъ видомъ каналовъ и т. под. Описаніемъ этихъ ключей и объясненіемъ ихъ происхожденія занимались многіе изслѣдователи въ различныя времена, и всѣ существующіе замѣчательные ключи подробно описаны и разъяснены. Впрочемъ, мы еще разъ вернемся къ этому вопросу ниже.

Здѣсь кстати будетъ упомянуть о „теплыхъ и горячихъ ключахъ“, т. е. о такихъ, температура которыхъ превышаетъ среднюю годовую температуру данной мѣстности. Появленіе подобныхъ ключей объясняется различными обстоятельствами, находящимися въ связи со свойствами нѣдръ земли и проч., при чемъ объ этомъ предметѣ существуютъ весьма различныя мнѣнія, такъ какъ

предѣлы непосредственныхъ наблюденій весьма ограничены, а слѣд. нѣтъ наглядныхъ доказательствъ правильности той или другой теоріи или гипотезы. Впрочемъ, объ этомъ явленіи въ предѣлахъ непосредственныхъ наблюденій мы скажемъ ниже при разсмотрѣніи зависимости между температурой почвы и температурой ключей.

Что касается приводимаго различными авторами объясненія происхожденія ключей отъ водяныхъ паровъ, образующихся въ нѣдрахъ земли, то необходимо замѣтить, что возможность подобнаго явленія вообще не можетъ быть оспариваема. О возможности сгущенія выдѣляющихся съ горизонта грунтовыхъ водъ водяныхъ паровъ между поверхностью этой воды и поверхностью почвы, а также вообще о возможности сгущенія содержащихся въ подпочвенномъ воздухѣ водяныхъ паровъ (безразлично, происходятъ-ли они снаружи или внутри почвы) въ самой почвѣ при соотвѣтствующемъ пониженіи температуры было нами упомянуто выше.

На этой именно возможности сгущенія д-ръ Фольгеръ построилъ теорію происхожденія ключей; принимая эту теорію въ томъ видѣ, какъ она предложена авторомъ, мы тѣмъ не менѣе не можемъ согласиться съ выведеннымъ имъ неправильнымъ заключеніемъ, что вся содержащаяся въ почвѣ жидкая вода имѣетъ своимъ происхожденіемъ исключительно упомянутую причину. Точно также нельзя согласиться съ выраженнымъ нѣкоторыми авторами взглядомъ по которому происхожденіе жидкой воды подъ почвой объясняется поднятіемъ ея изъ „теллурическихъ пустотъ“ въ почвѣ. Хотя невозможно отрицать образованіе водяныхъ паровъ въ почвѣ отъ неизвѣстныхъ намъ причинъ, но подобное образованіе паровъ вообще наблюдается далеко не часто, и тѣмъ менѣе можетъ быть точно доказано существованіе теллурической пустоты, сама по себѣ представляющей собой вообще весьма замѣчательное явленіе.

Наружная или надземная атмосфера по своей величинѣ значительно превосходитъ подземную. Послѣдняя можетъ простираться только до грунтовой воды, но не глубже, такъ какъ заполненныя водой поры и пустоты недоступны для воздуха. Въ Германіи, напр., по всей поверхности низменныхъ ея частей, уровень грунтовыхъ водъ лежитъ не глубже 4—5 метр. подъ поверхностью почвы; такъ какъ объемъ волосныхъ скважинъ или поръ почвы, лежащей подъ поверхностью земли и свободной отъ содержанія воды, составляетъ около $^1/_4$ полнаго объема почвы, то величина подпочвенной атмосферы равна количеству воздуха, расположеннаго надъ всей поверхностью слоемъ въ 1 метръ толщины. Высота-же наружной атмосферы, наоборотъ, составляетъ много тысячъ метровъ, и въ ней происходятъ болѣе сильныя пониженія температуры, такъ что сгущеніе водяныхъ паровъ въ капельно-жидкую воду въ надземной атмосферѣ можетъ происходить въ такомъ количествѣ, въ сравненіи съ которымъ подземная конденсація можетъ не играть никакой роли. Даже при самыхъ выгодныхъ предположеніяхъ относительно пониженія температуры подъ почвой ни при какихъ обстоятельствахъ въ подпочвенномъ воздухѣ Германіи путемъ сгущенія не можетъ образоваться такое количество капельно-жидкой воды, какое доставляется ключами и грунтовыми потоками. То же самое вполнѣ справедливо для низменныхъ мѣстъ вообще.

Относительно количествъ воды, даваемой ключами при данныхъ условіяхъ, а также и относительно постоянства притока воды, основываясь на вышеприведенныхъ (въ главѣ 5) соображеніяхъ, можно сказать:

Для опредѣленія годовой производительности даннаго ключа помножаютъ площадь питающей области осадковъ на число, выражающее собой количество жидкой воды, доставляемой путемъ инфильтраціи каждой единицѣ площади почвы въ годъ.

Наоборотъ, по данной суммѣ годовыхъ истоковъ изъ ключей для вполнѣ изученной въ геофизическомъ отношеніи области инфильтраціи можно опредѣлить инфильтраціонное число.

Постоянство и соотвѣтственно съ этимъ равномѣрность истока изъ ключей, какъ мы видѣли выше, обусловливается еще другими обстоятельствами. Хотя каждая область инфильтраціи постоянно отдаетъ все количество полученной ею

воды, такъ какъ истоки изъ ключей представляютъ собой излишекъ воды изъ водоносныхъ пластовъ, но продолжительность времени, требуемаго подпочвенной водой для прохода различныхъ своихъ путей въ водоносномъ пластѣ, зависитъ, отъ объема и свойства послѣдняго. Если объемъ водоноснаго пласта невеликъ то инфильтраціи быстро проходятъ черезъ него, тотчасъ-же послѣ своего прониканія, образуя ключи непостоянные, дающіе обильный притокъ воды только при дождливой погодѣ, а при засухѣ дающіе весьма незначительный притокъ или даже совершенно высыхающіе. Если, наоборотъ, объемъ водоноснаго пласта весьма великъ, то онъ вслѣдствіе своихъ волосныхъ скважинъ и щелей образуетъ весьма мощное подземное водохранилище, которое изъ находящагося въ немъ запаса можетъ питать равномѣрные истоки даже въ сухое время года. Подобнымъ же образомъ вліяетъ ширина сборныхъ каналовъ и способъ спусканія воды. Если сборныя щели не сильно извилисты и имѣютъ значительныя площади сѣченій, то сопротивленія быстрому стеканію подпочвенной воды невелики и вслѣдствіе этого истокъ бываетъ временами весьма обиленъ, но не постояненъ; при узкихъ каналахъ происходитъ обратное явленіе.

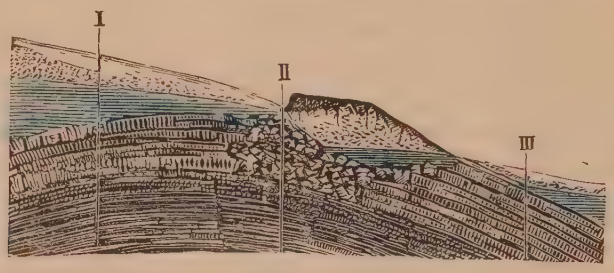
Такимъ образомъ постоянство и равномѣрность производительности ключа обусловливаются не одной только областью осадковъ, питающихъ данный ключъ, но также мощностью и свойствомъ водоноснаго пласта, регулирующими истокъ, а главнымъ образомъ отношеніемъ величины выпускныхъ каналовъ къ общему годовому количеству воды.

Всѣ приведенныя соображенія не могутъ быть примѣнимы при такихъ условіяхъ, которыя создаются несомнѣнной зависимостью между грунтовыми водами и открытыми водяными потоками или-же совокупнымъ ихъ дѣйствіемъ. По мѣрѣ спусканія съ горъ въ долины мы больше не въ состояніи точно опредѣлить область, относящуюся къ каждому отдѣльному ключу, такъ что на весьма большихъ разстояніяхъ можно не встрѣтить ни одного видимаго ключа, несмотря на прилегающую весьма большую проницаемую область инфильтраціи, при чемъ, наоборотъ, можно замѣтить постоянное увеличеніе количества воды въ рѣкѣ. Обыкновенные способы водоснабженія показываютъ намъ, что на нѣкоторой глубинѣ подъ поверхностью земли можно встрѣтить воду, и точное нивеллированіе тотчасъ-же намъ показываетъ, что найденная такимъ образомъ грунтовая вода движется по направленію къ открытому водяному потоку (см. отд. IV гл. 20). Отъ этихъ-то притоковъ открытый водяной потокъ получаетъ свое питаніе въ сухое время года. Если въ открытомъ водяномъ потокѣ вода постепенно или внезапно прибываетъ, то истокъ подпочвенныхъ водъ прекращается. Объ истокѣ воды въ видѣ ключа при этихъ условіяхъ не можетъ быть и рѣчи; вмѣсто безпрерывнаго опоражниванія по направленію къ открытому потоку, высокое по временамъ стояніе воды въ послѣднемъ, при обыкновенно весьма небольшомъ наклонѣ горизонта грунтовыхъ водъ по направленію къ открытому потоку, образуетъ весьма замѣтную инфильтрацію въ почву по направленію отъ дна или русла рѣки къ сушѣ.

Бываютъ случаи, когда открытые потоки послѣ прохода ими довольно большихъ протяженій, постепенно или внезапно исчезаютъ. Въ этихъ случаяхъ вмѣсто поднятія горизонта грунтовыхъ водъ по направленію отъ рѣки мы находимъ постоянное его пониженіе вправо и влѣво отъ рѣки, если истеченіе рѣки происходитъ въ пескѣ или валунахъ. Если-же рѣка опускается въ про-

пасть или въ щель, то моментально исчезаютъ какъ поверхностная, такъ и грунтовая вода. Поэтому въ такомъ мѣстѣ по направленію долины всякіе поиски грунтовой воды на нормальной глубинѣ подъ поверхностью земли будутъ совершенно напрасны. Наоборотъ, на болѣе или менѣе значительномъ разстояніи отъ этого мѣста исчезнувшее количество воды опять появляется на дневную поверхность, увеличенное количествомъ происходящей инфильтраціи въ почву или уменьшенное той частью воды, которая перешла въ области другихъ ключей. Ясно, что подобная выступающая на дневную поверхность вода, дважды подвергавшаяся процессу инфильтраціи въ почву, какъ по своему количеству, такъ и по своимъ качествамъ, можетъ попасть въ разныя категоріи появляющихся ключей, какъ мы объ этомъ замѣтили выше.

О подпочвенномъ потокѣ, направленномъ къ открытому потоку и обнаруживающемъ явленіе исчезанія и вторичнаго появленія на дневную поверхность, можно себѣ сдѣлать совершенно ясное представленіе на основаніи теоріи движенія подпочвенныхъ водъ (см. отд. IV, гл. 20). Изъ этой теоріи мы видимъ, что скорость движенія воды въ пескахъ и валунахъ весьма мала, вслѣдствіе чего поперечныя сѣченія водоносныхъ пластовъ и паденія въ долинѣ большей частью оказываются недостаточными для передвиженія почвенной инфильтраціи по направленію вдоль долины. Въ этомъ случаѣ происходитъ скопленіе или запруживаніе инфильтрацій, вслѣдствіе котораго ихъ движеніе и опоражниваніе черезъ водоносный слой происходятъ по направленію, перпендикулярному теченію рѣки, при чемъ находящіяся въ распоряженіи громадныя поперечныя сѣченія оказываются достаточными даже и для небольшихъ



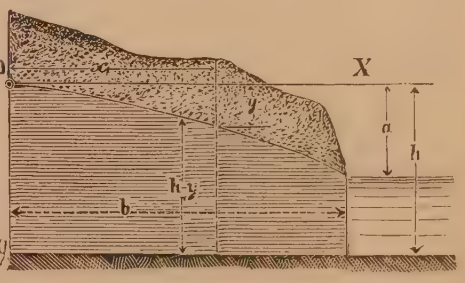
Фиг. 13.

паденій. На изображенной здѣсь (ф. 13), продольной профили этотъ случай имѣетъ мѣсто на протяженіи I—II. Если при II происходитъ измѣненіе условій, такъ что тамъ подпочва оказывается весьма проницаемой и сильно трещиноватой, дающей поперечное сѣченіе и паденіе, болѣе чѣмъ достаточное для дальнѣйшаго прохода грунтовой воды вдоль долины, то въ II сперва подпочвенная, а затѣмъ постепенно и рѣчная вода исчезаютъ, проходя отъ II до III по скрытому руслу и опять выступая на дневную поверхность при III въ видѣ сомкнутой соединенной водяной массы. Можетъ также случиться, что въ II существуетъ воронка, моментально поглощающая всю рѣчную воду и отводящая грунтовыя воды; при этомъ нѣтъ необходимости, чтобы исчезнувшая такимъ образомъ вода опять появилась бы на дневную поверхность въ той-же области осадковъ.

Разсмотримъ нѣсколько ближе первый случай, когда исчезаніе подпочвенной воды въ почвѣ долины невозможно. Поверхность грунтоваго потока въ поперечномъ сѣченіи вообще будетъ имѣть видъ волнистой кривой, обусловливаемой разнородностью матеріала водоноснаго пласта; при наинизшемъ уровнѣ воды въ руслѣ рѣки она приметъ непрерывное паденіе по направленію отъ суши къ рѣкѣ. Исходя изъ этого положенія равновѣсія, легко видѣть, что всякое повышеніе уровня воды въ рѣкѣ увеличитъ мощность грунтоваго потока, послѣдствіемъ чего явится подпоръ и подъемъ горизонта грунтовыхъ водъ. Это поднятіе горизонта грунтовыхъ водъ вблизи рѣки будетъ происходить одновременно съ повышеніемъ уровня воды въ рѣкѣ и постепенно будетъ продолжаться все дальше и дальше по направленію отъ берега рѣки къ сушѣ. Наоборотъ, по-

ниженіе уровня воды въ рѣкѣ вызоветъ пониженіе горизонта грунтовыхъ водъ. При этомъ можетъ случиться, что на нѣкоторомъ разстояніи отъ рѣки горизонтъ грунтовыхъ водъ подъ вліяніемъ раньше бывшаго высокаго уровня воды въ рѣкѣ будетъ находиться еще въ періодѣ восходящаго движенія, между тѣмъ какъ вблизи рѣки онъ давно уже понижается, и обратно, такъ какъ при необыкновенно медленномъ движеніи грунтовыхъ водъ новое положеніе равновѣсія можетъ наступить лишь по истеченіи довольно долгаго времени.

Нетрудно сдѣлать себѣ теоретическимъ путемъ весьма ясное представленіе о повышеніи и пониженіи горизонта грунтовыхъ водъ, принимая, что движеніе происходитъ по однородному слою валуновъ надъ горизонтально расположеннымъ непроницаемымъ слоемъ. Для этого случая разрѣзъ поверхности грунтовыхъ водъ плоскостью, перпендикулярной къ направленію потока, изображаетъ собой (см. отд. IV, гл. 20) параболу, уравненіе которой, отнесенное къ прямоугольной системѣ координатъ x, y (ф. 14), имѣетъ видъ:



Фиг. 14.

$$5)\quad y = h - \sqrt{h^2 - \frac{2Qx}{k\varphi l}} = h - \sqrt{h^2 - mx}.$$

Здѣсь означаютъ: h — глубину непроницаемаго слоя подъ началомъ координатъ, расположеннымъ на поверхности грунтоваго потока;

Q — количество воды, доставляемой грунтовымъ потокомъ шир. l въ 1 секунду;

φ — отношеніе объема волосныхъ скважинъ ко всему объему водоноснаго пласта;

k — эмпирическій коэффиціентъ, соотвѣтствующій данному проницаемому матеріалу;

m — сокращенное обозначеніе величины $\frac{2Q}{k\varphi l}$.

Для состоянія равномѣрности время t, потребное количествомъ воды Q для прохожденія пути x, опредѣляется изъ равенства:

$$u = \frac{Q}{\varphi l (h-y)} = \frac{Q}{\varphi l \sqrt{h^2 - \frac{2Q}{\varphi l k} x}} = \frac{dx}{dt}.$$

Интегрируя это уравненіе при постоянномъ Q, получаемъ:

$$\frac{Q}{\varphi l}\ t = -\frac{\varphi l k}{3Q} \sqrt{\left(h^2 - \frac{2Q}{\varphi l k} x\right)^3} + C.$$

Постоянная величина C получается при одновременныхъ значеніяхъ $x = 0$ и $t = 0$ и составляетъ:

$$C = \frac{\varphi l k}{3Q} h^3;$$

подставляя это значеніе, получимъ для t выраженіе:

$$t = \frac{k\varphi^2 l^2}{3Q^2}\left[h^3 - \sqrt{\left(h^2 - \frac{2Q}{\varphi l k} x\right)^3}\right] = \frac{k\varphi^2 l^2}{3Q^2}\left[h^3 - (h-y)^3\right].$$

Но изъ ур. 5) отъ возвышенія въ квадратъ получаемъ: $\frac{\varphi^2 l^2}{Q^2} = \frac{4x^2}{k^2\left[h^2 - (h-y)^2\right]^2}$; подставляя это значеніе въ послѣднее равенство, получаемъ:

$$6)\quad t = \frac{4x^2}{3k} \cdot \frac{h^3 - (h-y)^3}{\left[h^2 - (h-y)^2\right]^2}.$$

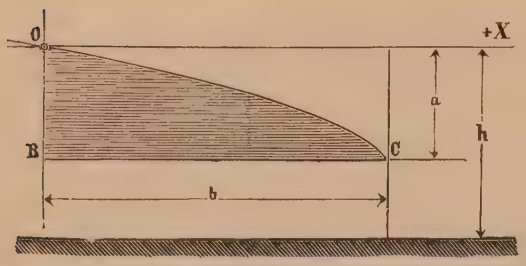
Такимъ образомъ время, потребное для даннаго перемѣщенія частицы воды по направленію грунтоваго потока, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше величина φ, и обратно. Для дви-

женія въ пескѣ оно весьма велико. Такъ, напр., для $x = 1000$ метр., $y = 10$ м. и $k = 0{,}001$ получаемъ:

$$t = 100.411.500 \text{ секундъ} = 1162 \text{ дня} = \text{около } 3 \text{ лѣтъ}.$$

Объемъ грунтовой воды, скопляющейся съ правой и лѣвой стороны потока, опредѣляется перемноженіемъ площади OBC (фиг. 15) на $2\,l$ и на величину φ отношенія объема поръ по всему объему породы. Площадь OBC на основ. ур. 5) составляетъ:

$$F = b\,a - \int_0^b y\,dx = b\,a - \int_0^b (h - \sqrt{h^2 - m\,x})\,.\,dx = b\,(a-h) + \frac{2}{3\,m}\left[h^3 - \sqrt{(h^2 - m\,b)^3}\right].$$



Фиг. 15.

Если путемъ наблюденій опредѣлить на выражаемой ур. 5) кривой точку съ абсциссой b и ординатой a, то получится:

$$a = h - \sqrt{h^2 - m\,b}\,,$$

$$m = \frac{h^2 - (h-a)^2}{b}\,.$$

Помножая площадь F на φ, получаемъ содержаніе воды F_0 на единицѣ длины, которое будетъ:

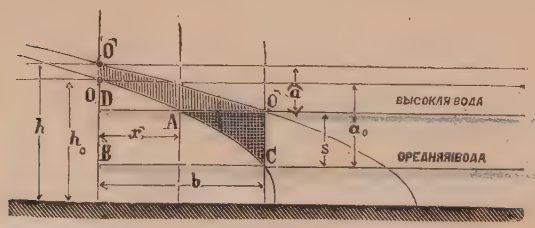
$$7)\quad F_0 = \frac{2\,\varphi\,b}{3}\left[\frac{h^3 - (h-a)^3}{h^2 - (h-a)^2} - \frac{3(h-a)}{2}\right],$$

откуда общій объемъ V_0 грунтовой воды, скопляющейся съ правой и лѣвой стороны рѣки на длинѣ l будетъ

$$8)\quad V_0 = 2\,l\,F_0\,.$$

При этомъ горизонтъ воды въ рѣкѣ считается горизонтальнымъ. При наклонномъ горизонтѣ воды въ рѣкѣ движеніе грунтоваго потока, текущаго по направленію теченія открытаго потока, сложится съ движеніемъ грунтоваго потока, направленнаго перпендикулярно теченію рѣки; но движущійся по первому направленію грунтовый потокъ даетъ такое ничтожное количество воды, что безъ замѣтной погрѣшности имъ можно совершенно пренебречь. При этомъ запасы воды, находящіеся ниже горизонта воды въ рѣкѣ, въ разсчетъ не принимаются.

Объемъ воды V_0 въ совершенно сухое время можетъ скопляться въ области рѣки въ качествѣ запаснаго водохранилища и при постоянномъ пониженіи горизонта грунтовыхъ водъ можетъ изливаться въ рѣку безъ всякаго постепеннаго пополненія его притокомъ сверху. Если исходить изъ какого-нибудь начальнаго состоянія неизмѣняемости OC, то послѣдующее затѣмъ состояніе движенія должно удовлетворять тому условію, что вытекающее количество воды замѣняется водой, освобождающейся изъ опоражниваемаго объема поръ; при этомъ наклонъ горизонта грунтовыхъ водъ къ истоку долженъ имѣть такую величину, чтобы черезъ данное поперечное сѣченіе могло-бы пройти количесво воды, не большее упомянутаго. Горизонтъ грунтовыхъ водъ, до момента полнаго опорожненія всего запаса грунтовой воды, вездѣ будетъ подверженъ постоянному измѣненію.



Фиг. 16.

Точно такимъ-же образомъ измѣняется горизонтъ грунтовыхъ водъ при повышеніи и пониженіи уровня воды въ рѣкѣ; если измѣненія уровня воды въ рѣкѣ происходятъ въ предѣлахъ между C' и C (ф. 16), то пространство $l\,.\,O'\,C'\,C\,O$ разъ наполнится водой, а другой опорожнится отъ воды. Если при этихъ явленіяхъ количество воды, питающей грунтовый потокъ, остается безъ измѣненія, то вслѣдствіе колебаній уровня воды въ рѣкѣ профили грунтоваго потока будутъ больше или соотвѣтственно меньше, а скорости грунтовыхъ водъ будутъ измѣняться въ обратномъ отношеніи.

Если исходить изъ опредѣленнаго уровня воды въ рѣкѣ BC (ф. 16), находящагося на вертикальномъ разстояніи a_0 отъ оси абсциссъ, то для какого-либо уровня воды въ рѣкѣ на разстояніи a содержаніе воды въ пространствѣ $l\,.\,O'\,C'\,C\,B\,O' = F_1$ будетъ:

$$F_1 = \varphi\,b\left\{s + \frac{2}{3}\left[\frac{h^3 - (h-a)^3}{h^2 - (h-a)^2} - \frac{3\,(h-a)}{2}\right]\right\},$$

и разница между этимъ количествомъ воды F_1 и содержаніемъ ея въ пространствѣ $l.OCBO = F_0$ даетъ намъ содержаніе воды въ пространствѣ $l.O'C'CAOO' = F'$, т. е.

$$9)\quad F' = F_1 - F_0 = \varphi b \left\{ s - \frac{2}{3}\left[\frac{h_0^3 - (h_0 - a_0)^3}{h_0^2 - (h_0 - a_0)^2} - \frac{h^3 - (h-a)^3}{h^2 - (h-a)^2} + \frac{3(h - a + a_0 - h_0}{2} \right] \right\}.$$

Переходъ отъ состоянія равномѣрности OC къ состоянію равномѣрности $O'C'$ будетъ происходить постоянно, а при быстромъ повышеніи уровня воды въ рѣкѣ отъ C къ C' онъ будетъ происходить тѣмъ медленнѣе, чѣмъ меньше величина Q или соотвѣтственно чѣмъ меньше s. Пока горизонтъ грунтовыхъ водъ не принялъ положенія AC', рѣчная вода служитъ для наполненія пространства $l.ACC'$; до этого момента рѣка не получаетъ грунтовыхъ водъ, и количество воды Q въ единицу времени тоже расходуется на заполненіе пространства $l.AC'CA$. Если уровень воды въ рѣкѣ считать отъ линіи AD и принять, что вода въ рѣкѣ находится въ состояніи покоя, то грунтовая вода будетъ вдавливаться въ почву съ силой $P = \gamma\left(s' - \frac{u^2}{2g}\right)$ на каждую квадратную единицу (s' изображаетъ разность между высотой грунтовой воды и уровнемъ воды въ рѣкѣ), и это прониканіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока величина s' не сдѣлается $= \frac{u^2}{2g}$, т. е. до тѣхъ поръ пока уровень грунтовыхъ водъ въ почвѣ сдѣлается одинаковымъ съ уровнемъ AC' воды въ рѣкѣ. Противодѣйствующая сила или живая сила всей находящейся въ движеніи массы воды, несмотря на значительный вѣсъ послѣдней, не играетъ здѣсь никакой роли, такъ какъ u^2, квадратъ скорости грунтовой воды, имѣетъ величину, близкую къ нулю. Такимъ образомъ наполненіе пространства $l.AC'C$ будетъ происходить съ обѣихъ сторонъ и въ сравнительно короткое время. Содержаніе воды въ пространствѣ $l.AC'CA$ легко опредѣлить, принимая въ соображеніе, что $AC'CA \doteq AC'CEA - ACEA = (b - x')s - ACEA = F''$, такъ что получаемъ:

$$10)\quad F'' = \varphi(b - x')\left\{ s - \frac{2}{3}\left[\frac{(h_0 - a_0 + s)^3 - (h_0 - a_0)^3}{(h_0 - a_0 + s)^2 - (h_0 - a_0)^2} - \frac{3(h_0 - a_0)}{2} \right] \right\}.$$

Когда уровень грунтовыхъ водъ располагается выше горизонтали AC', то питаніе грунтоваго потока рѣкой прекращается, и съ этого момента начинается притокъ въ рѣку грунтовой воды, количество которой возрастаетъ отъ нуля до нѣкоторой величины q, причемъ пространство $l.OAC'O'O$ можетъ заполнится водой только отъ разности $Q - q$. Содержаніе воды въ пространствѣ $\varphi.OAC'O' = F'''$ будетъ:

$$11)\quad F''' = F' - F''.$$

При пониженіи уровня воды въ рѣкѣ освобождается количество воды, заключающейся между начальнымъ уровнемъ грунтовой воды $O'C'$ и новымъ состояніемъ неизмѣняемости OC вмѣстѣ съ нормальнымъ притокомъ Q къ рѣкѣ, такъ что до наступленія новаго состоянія неизмѣняемости стекаетъ количество воды, большее Q.

Для такого пониженія уровня высота стоянія грунтовыхъ водъ $h - y$ въ каждый данный моментъ времени t (считая отъ начала пониженія) и для каждаго даннаго разстоянія x можетъ быть опредѣлена рѣшеніемъ частнаго дифференціальнаго уравненія второй степени [1]). Но путемъ другихъ разсужденій можно добиться хотя приблизительнаго, но вполнѣ достаточнаго для нашей цѣли, рѣшенія этого вопроса. При понижающемся уровнѣ воды въ рѣкѣ количество выдѣляющейся грунтовой воды замѣтно не измѣняется, вслѣдствіе чего промежутокъ времени, потребный для образованія новаго состоянія равномѣрности OC изъ состоянія $O'C'$, приблизительно можетъ быть принятъ равнымъ тому промежутку времени, который опредѣляется ур. 6) для $y = a$, $x = b$ или для другихъ координатъ. Получаемое значеніе t, преимущественно для песку, весьма велико, и пониженіе горизонта грунтовыхъ водъ будетъ происходить тѣмъ медленнѣе, чѣмъ больше мы удаляемся отъ рѣки по направленію вовнутрь суши.

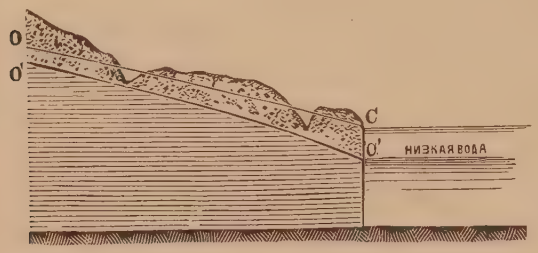
При прочихъ одинаковыхъ условіяхъ обратный переходъ изъ состоянія OC въ новое состояніе $O'C'$, т. е. повышеніе горизонта грунтовыхъ водъ, происходитъ въ болѣе короткій промежутокъ времени; повышеніе горизонта до линій AC' происходитъ съ обѣихъ сторонъ и заполненіе со стороны рѣки вслѣдствіе этого происходитъ подъ довольно замѣтной высотой напора. При этомъ все количество воды, выдѣленной грунтовымъ потокомъ въ рѣку, а также проникающая изъ рѣки инфильтрація въ почву, соединяются вмѣстѣ для заполненія пространства $ACC'CA$.

---

[1]) Cranz, C. Journal f. Gasbel. u. Wasserversorg. 1890, стр. 559.

Такимъ образомъ повышеніе горизонта грунтовыхъ водъ вслѣдствіе поднятія уровня воды въ рѣкѣ происходитъ сравнительно быстро, между тѣмъ какъ для обратнаго пониженія горизонта грунтовыхъ водъ до прежняго его уровня, при пониженіи уровня водывъ рѣкѣ, требуется довольно значительный промежутокъ времени.

Это повышеніе уровня грунтовыхъ водъ имѣетъ свой предѣлъ въ зависимости отъ конфигураціи мѣстности. Если только часть кривой *O C* (фиг. 17) располагается выше поверхности почвы, тотчасъ-же происходитъ истеченіе грунтовой воды (или опоражниваніе водоноснаго пласта) изъ ключей, при чемъ необходимо должно развиваться новое состояніе равновѣсія. Эти ключи могутъ быть расположены такъ, что отдѣльныя водяныя нити или струйки выступаютъ въ идущій на длинное протяженіе каналъ, и къ этому случаю могутъ быть примѣнены всѣ вышеприведенныя соображенія; но кромѣ того ключи могутъ появляться въ отдѣльныхъ пунктахъ, при чемъ получаются условія, благопріятствующія притоку воды къ этимъ пунктамъ со всѣхъ сторонъ. Подобными ключами регулируется горизонтъ грунтовыхъ водъ на короткихъ участкахъ почвы внѣ рѣки; выходъ воды на дневную поверхность прекращается тотчасъ-же по достиженіи горизонтомъ грунтовыхъ водъ уровня *O′ C′*. Этимъ объясняется также и тотъ фактъ, что при уменьшеніи количества грунтовой воды въ большихъ аллювіальныхъ долинахъ отдѣльные водяные потоки изсякаютъ, между тѣмъ какъ вообще имѣется еще масса грунтовой воды, которая во всякое время можетъ быть добыта въ глубже-лежащихъ пунктахъ. Изъ вышесказаннаго также ясно, что эти количества грунтовой воды достигаютъ своего максимума въ наиболѣе глубокой части долины, вблизи главнаго потока.



Фиг. 17.

Подобныя-же соотношенія будутъ имѣть мѣсто и въ томъ случаѣ, когда водоносный пластъ состоитъ не изъ однородныхъ валуновъ, какъ это было предположено въ предыдущемъ случаѣ, а изъ матеріаловъ различныхъ свойствъ. При залеганіи болѣе крупнаго матеріала, преимущественно если подобныя залеганія существуютъ на большихъ протяженіяхъ, болѣе или менѣе значительныя количества грунтовыхъ водъ могутъ быть отведены, образуя собой въ общемъ потокѣ отдѣльный для себя потокъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, преимущественно если въ этомъ мѣстѣ расположены засыпанные болѣе крупными валунами старые русла или рукава рѣкъ и т. под., замѣчается, что теченіе грунтовыхъ водъ противъ правилъ направлено параллельно теченію рѣки, или что въ отдѣльныхъ мѣстахъ грунтовыя воды сильнѣе выступаютъ на дневную поверхность и т. д. Если желаютъ себѣ составить полную правильную картину подобнаго явленія, то раньше всего необходимо тщательное изученіе водоноснаго пласта, который весьма рѣдко состоитъ изъ однородныхъ матеріаловъ; общія-же точки зрѣнія остаются одинаковыми и для совершенно неоднородныхъ свойствъ проницаемой водою почвы.

При всѣхъ обстоятельствахъ повышеніе уровня воды въ рѣкѣ препятствуетъ истеченію грунтовыхъ водъ по направленію къ рѣкѣ. Постоянно притекающая грунтовая вода, не находя себѣ никакихъ другихъ истоковъ, забьетъ ключемъ въ непосредственной близости къ рѣкѣ и соединится съ почвенной водой (верховодкой), являющейся изъ рѣки. Такимъ образомъ при повышающемся уровнѣ воды наибольшія количества грунтовыхъ водъ встрѣчаются вблизи рѣки. При понижающемся уровнѣ воды идущій съ нагорной стороны грунтовый потокъ изливается въ рѣку; наибольшее количество воды и въ этомъ случаѣ выдѣляется потокомъ непосредственно предъ изливаніемъ въ открытый водоемъ.

Отсюда видно, что средніе и высшіе уровни воды въ рѣкѣ уравниваютъ грунтовую волну или горизонтъ грунтовыхъ водъ въ почвѣ и увеличиваютъ содержаніе воды въ естественномъ подпочвенномъ резервуарѣ, препятствуя въ это время изливанію грунтовыхъ водъ въ открытые потоки и подпирая ихъ въ водоносномъ пластѣ. Наибольшее скопленіе этихъ водъ всегда находится вблизи самой рѣки. Грунтовыя воды образуютъ тѣмъ болѣе продолжительное свое скопленіе, чѣмъ ровнѣе горизонтъ ихъ и чѣмъ дальше онъ вдается въ сушу, а также и чѣмъ продолжительнѣе бываетъ высокій уровень воды въ рѣкѣ послѣ продолжительныхъ дождей. Такъ какъ медленное теченіе половодья происходитъ только въ проницаемыхъ областяхъ осадковъ, то преимущественно широкія, покрытыя гальками и валунами долины служатъ для запасанія въ себѣ сравнительно большихъ количествъ инфильтрацій и вслѣдствіе этихъ запасовъ могутъ давать значительныя количества воды въ сухое время года, причемъ упомянутое свойство проницаемаго пласта—быстро впитывать въ себя воду и, наоборотъ, весьма медленно выдѣлять ее изъ себя—имѣютъ здѣсь выдающееся значеніе.

Поэтому періодическія повышенія уровня воды въ рѣкахъ представляютъ собой надлежащіе моменты для опредѣленія постоянства и обилія грунтовыхъ водъ въ ихъ аллювіальныхъ слояхъ.

Дальнѣйшее теченіе внезапно проникающихъ въ почву водъ представляло собой предметъ многочисленныхъ изслѣдованій и изученій; для точнаго выясненія этихъ теченій прежде всего требуется тщательное изученіе свойствъ горныхъ породъ, въ которыхъ происходитъ расходъ или потеря воды; но въ этомъ отношеніи весьма рѣдко удается добиться надежныхъ результатовъ. Во многихъ случаяхъ, въ которыхъ имѣлись вполнѣ основательныя вѣроятныя предположенія о переходѣ воды изъ одной области осадковъ въ другую, непосредственными опытами удалось обратить вѣроятность въ достовѣрность. Вообще относительно этихъ явленій существуетъ цѣлая масса теорій, излагаемыхъ во многихъ курсахъ физической географіи и т. под.

8. Зависимости между климатомъ, температурой почвы и температурой ключей.

Теплота почвы въ какомъ-либо мѣстѣ подъ поверхностью земли, или соотвѣтственно на самой земной поверхности, развивается подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ и внутреннихъ вліяній. Внѣшнія вліянія состоятъ въ сообщеніи почвѣ теплоты путемъ лучеиспусканія отъ солнца, въ охлажденіи ея въ теченіи ночи, въ дѣйствіи дождя, снѣга и проч. и проч.; внутреннія вліянія состоятъ въ сообщеніи почвѣ теплоты изъ имѣющихся въ самой землѣ запасовъ ея. Происхожденіе послѣдней теплоты намъ пока неизвѣстно; простирается-ли наблюдаемое нами вездѣ до глубины около 1750 метр. повышеніе температуры почвы и глубже въ нѣдрахъ земли, и находятся-ли послѣднія въ расплавленномъ состояніи, доказать одинаково трудно. Достовѣрно пока только одно, что вездѣ почва на извѣстной глубинѣ подъ поверхностью земли имѣетъ совершенно постоянную температуру, которая приблизительно соотвѣтствуетъ средней годовой температурѣ воздуха надъ этой поверхностью; этотъ фактъ можетъ быть константированъ для всякаго

климата, такъ что, напр., въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ средняя годовая температура бываетъ ниже точки замерзанія, слой почвы на соотвѣтственной глубинѣ всегда остается мерзлымъ, безразлично оттаиваетъ-ли надъ нимъ поверхностная почва лѣтомъ и служитъ для питанія растительности, или нѣтъ. Отъ этого слоя почвы съ постоянной температурой въ предѣлахъ произведенныхъ до сихъ поръ наблюденій (до глубины около 1750 метр. подъ поверхностью земли) можно принять постоянное повышеніе температуры на $1°C$ для каждыхъ 28—29 метр. дальнѣйшаго углубленія въ нѣдра почвы.

Что касается прежде всего вліянія нагрѣванія отъ лучеиспусканія солнца и охлажденія въ теченіи ночи, то скорость распространенія возбужденной солнечными лучами теплоты и соотвѣтственно скорость выдѣленія теплоты отраженіемъ въ значительной степени зависятъ отъ свойствъ самой почвы. Рыхлыя пористыя породы почвы представляютъ собой самые дурные проводники теплоты; смачиваніе проводниковъ облегчаетъ передачу и распространеніе ими теплоты. Но кромѣ зависимости отъ этихъ условій вліяніе лучеиспусканія солнца въ большой степени зависитъ отъ рода растительныхъ культуръ, находящихся на поверхности почвы. Голыя части скалъ сравнительно быстро передаютъ заимствованную ими отъ солнечныхъ лучей теплоту вовнутрь; въ лѣсистыхъ мѣстностяхъ послѣдствія нагрѣванія лучами солнца на поверхности почвы обнаруживаются весьма медленно. Влажныя поверхности почвы расходуютъ часть сообщенной имъ солнечной теплоты на испареніе воды; на покрытыя снѣгомъ поверхности почвы лучеиспусканіе солнца почти не дѣйствуетъ. Въ обратныхъ условіяхъ находится охлажденіе почвы въ теченіи ночи (см. отд. I, гл. 1); голыя скалы меньше отражаютъ теплоту, а растительность больше; въ такомъ же соотношеніи, само собой разумѣется, находятся и скорости выдѣленія теплоты. Выдѣленіе теплоты нѣсколько видоизмѣняется вызываемыхъ имъ-же образованіемъ росы, такъ какъ водяные пары, сгущаясь въ росу опять выдѣляютъ часть теплоты, своевременно израсходованной на ихъ образованіе; второе измѣненіе выдѣленія теплоты вызывается облачностью, которая вообще сильно препятствуетъ отраженію или лучеиспусканію земли. Лежащій на поверхности почвы снѣжный покровъ почти окончательно прекращаетъ отраженіе. Вліянія нагрѣванія лучеиспусканіемъ и отраженія каждый день бываютъ различны и зависятъ также отъ положенія данной мѣстности на самой землѣ и отъ положенія солнца, т. е. оно зависитъ отъ географической широты мѣста и отъ времени года; для полученія представленія объ этихъ вліяніяхъ въ данной мѣстности опредѣляютъ вызванныя ими измѣненія температуры слоя воздуха, ближайшаго къ почвѣ. Эта температура, конечно, тоже всегда оказывается перемѣнной; но тѣмъ не менѣе по суммѣ наблюденій можно опредѣлить среднюю или нормальную температуру, измѣненіе которой для данной мѣстности въ теченіи значительныхъ періодовъ времени незначительно. Среднюю температуру мѣстности слѣдуетъ опредѣлить по наблюденіямъ за 20—50 лѣтъ (по среднимъ годовымъ температурамъ, какъ приведено выше, въ гл. 1); мѣстности съ одинаковой средней или нормальной температурой соединяются между собой на поверхности земли кривой, такъ называемой изотермой (см. гл. 1).

Подъ климатомъ разумѣютъ совокупность условій погоды данной мѣстности, не въ смыслѣ однѣхъ только нормальныхъ среднихъ температуръ, но принимая также во вниманіе и разницы, замѣчаемыя въ отдѣльныя времена года. Такъ, напр., мѣстности съ одинаковой средней годовой температурой могутъ весьма существенно различаться между собой тѣмъ, что въ одной изъ нихъ бываетъ

мягкая зима и сравнительно прохладное лѣто, между тѣмъ какъ въ другой бываетъ жаркое лѣто, и, наоборотъ, холодная зима.

Такъ, напр., средняя годовая температура Якутска (въ Сибири) составляетъ $-10^0\ C$, между тѣмъ какъ лѣтняя температура (въ Іюлѣ) бываетъ $+20^0\ C$; въ теченіе короткаго, но жаркаго лѣта въ этой мѣстности созрѣваетъ хлѣбъ на почвѣ, которая уже на глубинѣ 1 метра остается постоянно мерзлой. На сѣверномъ берегу Исландіи, наоборотъ, средняя годовая температура составляетъ $0^0\ C$; зимой она понижается до $-6^0\ C$, а лѣтомъ достигаетъ $8^0\ C$, такъ что здѣсь, несмотря на болѣе высокую среднюю температуру, никакой зерновой хлѣбъ не можетъ созрѣвать.

Весьма существенное вліяніе на климатъ оказываютъ поверхности водъ, вслѣдствіе чего различаютъ климатъ континентальный, морской и береговой. Такъ какъ вода вслѣдствіе своей большой теплоемкости такъ-же медленно нагрѣвается, какъ и медленно теряетъ свою теплоту отраженіемъ или лучеиспусканіемъ, и такъ какъ болѣе частая облачность надъ водяными поверхностями, и преимущественно на морскихъ берегахъ, сильно уменьшаетъ интенсивность обогрѣванія лучами солнца, а вмѣстѣ съ тѣмъ и интенсивность отраженія теплоты въ ночное время, то вблизи поверхностей водъ или надъ ними мы замѣчаемъ меньшія разницы температуры воздуха въ различныя времена года, между тѣмъ какъ на континентахъ эти разницы гораздо значительнѣе.

Подъ вліяніемъ климата температура почвы измѣняется, начиная съ поверхности по направленію вглубь ея; въ противоположномъ направленіи дѣйствуетъ проникающая извнутри кнаружу теплота земли, и температура почвы создается отъ совокупнаго дѣйствія обоихъ этихъ вліяній. На глубинѣ нѣсколькихъ сантиметровъ подъ поверхностью почвы уже существуетъ другая температура, нежели въ нижнихъ слояхъ воздуха надъ поверхностью земли; кромѣ того наблюденія показываютъ, что на глубинѣ 2 метровъ колебанія температуры составляютъ только $^1/_2$—$^1/_3$ колебаній температуры воздуха, и въ каждой почвѣ, какъ было упомянуто выше, на нѣкоторой глубинѣ находится такой слой, въ которомъ никакихъ колебаній температуры больше не обнаруживается; этотъ слой приблизительно имѣетъ среднюю годовую температуру воздуха. Въ такихъ мѣстностяхъ, гдѣ бываетъ зима, никогда не встрѣчается полное равенство средней годовой температуры воздуха съ температурой слоя почвы, остающагося постоянно одинаково теплымъ. Вслѣдствіе снѣжнаго покрова надъ почвой и затрудненнаго прониканія внѣшняго воздуха въ замерзшую почву зимній холодъ соотвѣтственно своей интенсивности не можетъ оказать на внутренность почвы такое-же дѣйствіе, какое оказываетъ лѣтняя жара, встрѣчающая открытыя поры почвы. Поэтому наблюденія показываютъ тотъ фактъ, что температура слоя почвы съ постоянной температурой тѣмъ болѣе превышаетъ среднюю годовую температуру мѣста, чѣмъ дольше въ данной мѣстности температура воздуха ежегодно остается ниже точки замерзанія.

На основаніи совокупности результатовъ наблюденій метеорологическихъ станцій въ Баваріи относительно температуры почвы Зингеръ говоритъ слѣдующее [1]).

Въ теченіи богатыхъ осадками зимнихъ мѣсяцевъ съ мягкой погодой не замѣчается никакого повышенія температуры почвы относительно средней годовой температуры, а скорѣе на болѣе значительныхъ глубинахъ замѣчается пониженіе температуры почвы. Мягкія и сухія зимы всегда обнаруживаютъ нѣкоторую склонность температуры почвы къ превышенію нормальной годовой температуры воздуха. Въ теченіи зимы съ перемѣнными морозами и оттепелями, когда средняя температура бываетъ ниже нормальной, температура почвы обнаруживаетъ явную склонность къ пониженію на не слишкомъ значительной глубинѣ. Точно также если послѣ мягкаго и богатаго осадками подзимья слѣдуетъ морозная зима, то даже снѣжный покровъ не въ состояніи задержать пониженія температуры почвы. Наоборотъ, въ теченіе продолжительной холодной зимы, когда въ Декабрѣ м-цѣ почва уже покрыта снѣжнымъ покровомъ, отрицательныя уклоненія температуры почвы ограничиваются высшимъ своимъ предѣломъ или

[1]) „Beobachtungan der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern“, т. 11. 1889 г.

вообще незамѣтны. Теплая весна обыкновенно съ небольшимъ количествомъ осадковъ вызываетъ относительное повышеніе температуры почвы. Когда за холодной и богатой осадками поздней зимой непосредственно слѣдуютъ теплые весенніе мѣсяцы, то повышается только температура верхнихъ слоевъ почвы, между тѣмъ какъ температура болѣе глубокихъ слоевъ можетъ продолжать понижаться ниже нормальной, своей величины. Въ теченіи отдѣльныхъ теплыхъ и богатыхъ осадками весеннихъ мѣсяцевъ температура почвы остается неизмѣнной относительно нормальной температуры. Слишкомъ холодной веснѣ, обыкновенно сопровождающейся метелями, соотвѣтствуетъ, за весьма малыми исключеніями, замѣтное пониженіе температуры почвы до довольно значительной глубины въ сравненіи съ температурой при нормальномъ теченіи весны. При холодной и вмѣстѣ съ тѣмъ сухой веснѣ относительное пониженіе температуры почвы вообще бываетъ меньше, если только ей непосредственно не предшествовали періоды съ обильными осадками. Теплому лѣту всегда соотвѣтствуютъ высокія температуры почвы или ихъ повышенія; эти повышенія бываютъ тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ большее количество осадковъ совпадаетъ съ излишкомъ температуры воздуха или предшествуетъ ему; въ теченіи теплыхъ и вмѣстѣ съ тѣмъ сухихъ лѣтнихъ мѣсяцевъ повышеніе температуры почвы не превышаетъ нормальнаго. Происходящія безъ исключенія пониженія температуры почвы въ теченіи холоднаго лѣта достигаютъ сравнительно небольшихъ только глубинъ, доходящихъ до 4 метр. Тѣ мѣсяцы, въ теченіи которыхъ можно замѣтить такое пониженіе до глубины 6 метр., оказываются всегда весьма богаты осадками. Теплая осень за весьма малыми исключеніями даетъ относительныя повышенія температуры почвы. Эти повышенія обыкновенно бываютъ весьма малы и даже могутъ перейти въ пониженіе, если поздняя осень по обилію осадковъ имѣетъ видъ мягкой зимы. Низкая температура воздуха осенью въ большинствѣ случаевъ совпадаетъ съ избыткомъ атмосферныхъ осадковъ и имѣетъ своимъ послѣдствіемъ равномѣрное и весьма замѣтное пониженіе температуры почвы. Въ болѣе рѣдкихъ случаяхъ слишкомъ холодный и сухой осенній мѣсяцъ оказываетъ вообще весьма небольшое вліяніе на температуру почвы. Влажность почвы при описанныхъ здѣсь условіяхъ (южно-Баварское плоскогоріе) зимой и весной вообще оказывается достаточной для того, чтобы уклоненія температуры воздуха могли-бы вліять на уклоненія температуры почвы, между тѣмъ какъ лѣтомъ (въ мѣстности, покрытой растительностью) для этого необходимъ избытокъ осадковъ. Осень большею своею частью примыкаетъ къ условіямъ лѣта. Количества осадковъ обусловливаютъ собой колебанія температуры почвы въ не меньшей степени, нежели имъ обусловливаются колебанія температуры воздуха.

Температура почвы и температура грунтовой воды въ какомъ-либо мѣстѣ будутъ одинаковы между собой, если только вода совершенно проникаетъ почву, такъ какъ заполняющая почву вода, приходя съ почвой въ соприкосновеніе въ теченіи продолжительнаго времени, вездѣ принимаетъ температуру прилегающей къ ней почвы. Если-же почва не совершенно проникнута водой, какъ это, напр., бываетъ при быстромъ поглощеніи значительныхъ количествъ дождя или тающаго снѣга щелями скалъ или другими широкими каналами и проч., то полное сравненіе температуръ инфильтраціонной воды и соприкасающейся съ ней породы не произойдетъ до тѣхъ поръ, пока поры послѣдней не заполнятся водой; до наступленія этого момента температуры породы и воды будутъ различны, и сравненіе ихъ можетъ происходить только отчасти, но не вполнѣ. Это уравниваніе температуръ будетъ наименьшее, если большія количества воды проникаютъ въ почву и могутъ въ ней дальше двигаться такимъ образомъ, что только смачиваютъ проходимыя ими породы, но не пропитываютъ ихъ.

Температура, съ которой грунтовая вода выходитъ изъ ключей на дневную поверхность, во всѣхъ случаяхъ будетъ подвержена вліянію соприкасанія этой воды съ подпочвенными породами; она тѣмъ больше приблизится къ температурѣ проникаемой ею породы, чѣмъ дольше вода будетъ оставаться въ породѣ, или чѣмъ интенсивнѣе она проникаетъ породу, и обратно. При всѣхъ обстоятельствахъ, однако, температура выходящей воды не будетъ зависѣть исключительно отъ глубины, изъ которой она выходитъ, и отъ температуры внѣшняго воздуха или отъ климата, но она будетъ зависѣть также и отъ температуры инфильтраціи.

Другими словами, при одинаковой глубинѣ подъ землей и одинаковой температурѣ внѣшняго воздуха, измѣряемая у ключа температура будетъ различна въ зависимости отъ того, попадаютъ-ли въ почву холодныя инфильтраціи, какъ, напр., отъ таянія снѣговъ, или же онѣ состоятъ большей частью изъ дождевой воды.

Исходя изъ тѣхъ-же соображеній, мы видимъ, что проникнутая инфильтраціями почва, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, на различныхъ глубинахъ будетъ имѣть температуры, отличныя отъ температуръ приблизительно безводной почвы; въ послѣдней явственнѣе обнаруживается вліяніе температуры внѣшняго воздуха и выдѣляемой изъ нѣдръ земли теплоты.

Температура грунтовой воды является результатомъ совокупнаго дѣйствія средней температуры воздуха, климата, теплоты земли, температуры инфильтраціи и свойства поверхности почвы, и для точнаго выясненія температуры какого-либо ключа или источника каждый изъ этихъ отдѣльныхъ факторовъ долженъ быть въ точности извѣстенъ. Но вмѣстѣ съ этими главными факторами на температуру ключей вліяютъ еще особые факторы, какъ, напр., орографическія свойства мѣстности (отдѣльныя горныя вершины, горныя цѣпи, кряжи, плоскогорія и т. д.), различныя водоемкости проникаемыхъ инфильтраціями или соприкасающихся съ ними горныхъ породъ, освобождающаяся путемъ конденсаціи въ почвѣ вода, химическія дѣйствія и проч. Наконецъ, весьма существенное вліяніе имѣетъ также путь, по которому вода проходитъ черезъ почву, и время, въ теченіи котораго она совершаетъ этотъ путь, т. е. проникаетъ-ли вода черезъ поры почвы къ мѣсту ключа постепенно, или-же она подводится къ нему быстро по болѣе или менѣе значительнымъ щелямъ.

Такимъ образомъ нельзя сказать, какъ часто температура грунтовой воды изъ какого-либо ключа совпадаетъ со средней температурой воздуха въ данномъ мѣстѣ; наоборотъ, средняя изъ годовыхъ наблюденій надъ температурой воды изъ ключа весьма рѣдко совпадаетъ со средней годовой температурой воздуха въ данномъ мѣстѣ. Кромѣ того между этими обоими факторами не всегда существуетъ опредѣленная зависимость, при чемъ средняя температура грунтовой воды въ теченіи холоднаго года иногда бываетъ выше, нежели въ теченіи теплаго года, и обратно. Вслѣдствіе такого разнообразія факторовъ, вліяющихъ на среднюю температуру грунтовой воды, установленіе какихъ-либо совершенно точныхъ правилъ для опредѣленія этой температуры является недостижимымъ; можно только несомнѣнно утверждать, что:

1. Значительныя превышенія средней температуры грунтовой воды (изъ ключей) надъ средней годовой температурой воздуха въ данномъ мѣстѣ показываютъ, что подземные пути грунтовыхъ водъ идутъ сперва на глубинахъ больше 30 метр. и оттуда уже они направляются къ ключу.

2. Сильныя колебанія температуръ грунтовыхъ водъ указываютъ на незначительную глубину прониканія инфильтрацій или на быстрое прониканіе ихъ черезъ промежутки породы, между тѣмъ какъ незначительныя колебанія допускаютъ предположеніе, что грунтовыя воды въ теченіи довольно продолжительнаго времени оставались на такой глубинѣ, на которой вліяніе климата уже не имѣетъ значенія.

3. Ввиду всѣхъ факторовъ, совокупно вліяющихъ на температуру грунтовыхъ водъ, и непрерывнаго измѣненія свойствъ большинства изъ нихъ, абсолютно постоянной температуры воды какого-либо ключа вообще существовать не можетъ.

Разсмотрѣніе температуръ такихъ ключей, происхожденіе воды въ которыхъ трудно объяснимо, какъ, напр., горячихъ источниковъ, гейзеровъ и т. под., не входитъ въ рамки нашей задачи. Различныя мнѣнія геологовъ и вообще естествоиспытателей объ этихъ явленіяхъ, а также и наблюденія надъ теплыми ключами желающіе могутъ найти въ курсахъ и спеціальныхъ сочиненіяхъ по физической географіи.

Изъ вышесказаннаго можно себѣ объяснить происхожденіе такихъ ключей, средняя годовая температура которыхъ ниже нормальной температуры мѣстности начальнаго ихъ происхожденія. (Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ почвенныя инфильтраціи обращаются въ ледъ). Лершъ различаетъ 3 категоріи ключей: изотермическихъ — средняя температура которыхъ приблизительно одинакова съ нормальной температурой мѣста начальнаго ихъ происхожденія, гипотермическихъ — въ которыхъ средняя температура ниже, и гипертермическихъ — въ которыхъ средняя температура выше нормальной температуры мѣста начальнаго ихъ происхожденія.

Въ отношеніи постоянства температуры первое мѣсто занимаютъ грунтовыя воды, встрѣчаемыя въ наносахъ рѣчныхъ долинъ и не подверженныя вліянію воды самой рѣки. Подобныя условія встрѣчаются тѣмъ чаще, чѣмъ однороднѣе и болѣе мелкозернистъ водопроницаемый или водоносный пластъ, и чѣмъ меньше въ немъ находится некапиллярныхъ промежутковъ. Начиная съ грунтовыхъ водъ, которыя протекаютъ съ выше расположеннныхъ горъ и вливаются въ грунтовый потокъ уже съ температурой, равной температурѣ ключа, разсмотримъ ходъ инфильтраціи отъ поверхности почвы до горизонта грунтовыхъ водъ. Эти инфильтраціи зимой и весной будутъ холодными, а лѣтомъ, наоборотъ, всегда теплыми. Надъ грунтовой водой находится всегда насыщенная водяными парами атмосфера одинаковой температуры. Холодныя воды, проникнувъ черезъ тѣсные пути почвеннаго фильтра, встрѣчаются съ этой насыщенной водяными парами атмосферой, температура которой при этомъ понижается, вслѣдствіе чего происходитъ сгущеніе паровъ. Освобождающаяся при этомъ сгущеніи теплота заимствуется проникающей туда водой, которая достигаетъ поверхности грунтовыхъ водъ уже въ нагрѣтомъ состояніи. Если-же холодный почвенный фильтръ получаетъ сверху теплую воду, то при прониканіи ея къ горизонту грунтовыхъ водъ часть ея испаряется; это испареніе бываетъ весьма энергичное, какъ въ этомъ можно убѣдиться по туману, наблюдаемому надъ наносами лѣтомъ послѣ теплыхъ дождей. Но вслѣдствіе этого энергичнаго испаренія вода выдѣляетъ теплоту, такъ что въ подобныхъ случаяхъ вода достигаетъ уровня грунтовыхъ водъ въ охлажденномъ уже состояніи. Такимъ образомъ здѣсь предварительно уже существуютъ условія, уменьшающія разницу температуръ находящейся тамъ грунтовой воды и вновь притекающей инфильтраціи тѣмъ болѣе, чѣмъ глубже горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ подъ поверхностью почвы.

Что-же касается грунтовой воды, уже находящейся на нѣкоторой глубинѣ подъ поверхностью песчаной или валунной почвы, то вслѣдствіе постояннаго притока сверху и происходящаго въ верхнихъ ея слояхъ испаренія эта вода не можетъ имѣть постоянную температуру. Колебанія, однако, не простираются очень глубоко, и сравнительно на тѣмъ меньшую глубину, чѣмъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ матеріалъ водоноснаго слоя мельче; это явленіе можетъ быть объяснено слѣдующимъ весьма простымъ разсужденіемъ:

Извѣстно, что сообщеніе между болѣе теплыми и болѣе холодными слоями воды независимо отъ молекулярныхъ дѣйствій и химическихъ измѣненій, происходитъ вслѣдствіе различныхъ вѣсовъ равныхъ объемовъ воды при различныхъ температурахъ. Если черезъ T обозначимъ температуру на поверхности водянаго горизонта, черезъ T_0 — температуру на глубинѣ h_0 ниже этой поверхности, черезъ γ — удѣльный вѣсъ воды на поверхности водянаго горизонта, а черезъ γ_0 — удѣльный вѣсъ воды на глубинѣ h_0, то разность вѣсовъ единицы

объема будетъ $\gamma - \gamma_0$, и сила поднятія или погруженія каждой единицы объема на произвольной глубинѣ h будетъ:

$$A = \frac{(\gamma - \gamma_0) h}{h_0},$$

при чемъ предполагается равномѣрное измѣненіе теплоты. Для слоя воды высотой $\triangle h$ и основаніемъ въ единицу площади движущая сила P будетъ:

$$P = A \cdot \triangle h \cdot \varphi = \frac{\varphi (\gamma - \gamma_0) h \cdot \triangle h}{h_0},$$

гдѣ φ означаетъ коэффиціентъ пропорціональности между объемомъ поръ и всѣмъ объемомъ водоноснаго пласта.

Но удѣльный вѣсъ воды въ какомъ-либо мѣстѣ на глубинѣ h отъ поверхности будетъ

$$\Gamma = \gamma - \frac{(\gamma - \gamma_0) h}{h_0} = \frac{\gamma h_0 - h (\gamma - \gamma_0)}{h_0},$$

и рабочая высота напора на протяженіи $\triangle h$ будетъ

$$\triangle y = \frac{P}{\Gamma}.$$

Эта высота напора образуетъ скорость опусканія или поднятія частицъ воды и служитъ для преодолѣнія тренія воды въ водоносномъ пластѣ. Пренебрегая величиной $\frac{u^2}{2g}$ въ сравненіи съ величиной y (см. отд. IV, гл. 20), и такъ какъ $u = k \frac{\triangle y}{\triangle h}$, получаемъ

$$\frac{P}{\Gamma} = \triangle y = \frac{\varphi (\gamma - \gamma_0) h \cdot \triangle h}{\gamma h_0 - (\gamma - \gamma_0) h} = \frac{u}{k} \triangle h,$$

откуда

$$u = \frac{k \varphi (\gamma - \gamma_0) h}{\gamma h_0 - (\gamma - \gamma_0) h}.$$

Нетрудно вычислить, насколько незначительна эта скорость. Принимая, напр., $T = 4^0\ C$, $T_0 = 22^0\ C$, получимъ $\gamma = 1000$ и $\gamma_0 = 999{,}48$; при $\varphi = 0{,}25$, $k = 0{,}0008$ и $h = 3{,}0$ получаемъ

$$u = 0{,}000.000.000.104 \text{ метр.}$$

Вслѣдствіе крайней медленности этого обмѣна теплоты поясъ съ замѣтными перемѣнами температуры не можетъ простираться на большую глубину. Поэтому если постоянная средняя годовая температура почвы встрѣчается только на глубинѣ 20—30 метр., то въ песчаной почвѣ грунтовая вода можетъ имѣть приблизительно постоянную температуру на значительно меньшей глубинѣ подъ поверхностью грунтовыхъ водъ.

Относительно температуры поверхностныхъ водяныхъ потоковъ, какъ, напр., ручьевъ, рѣкъ, озеръ и проч. будетъ сказано ниже (см. отд. II).

9. Непрерывныя химическія и динамическія измѣненія горныхъ породъ, производимыя водой, и вліяніе ихъ на свойства породъ.

Простые лабораторные опыты показываютъ, что водяной паръ, преимущественно смѣшанный съ сѣрнистыми парами, весьма быстро разрушаетъ всѣ каменныя породы. Эти пары, напр., выдѣляютъ изъ кремнистаго глинозема кремневую кислоту, причемъ образующаяся сѣрная кислота съ глинами образуетъ различные сульфаты: известь обращается въ гипсъ или ангидридъ, а вулканическія породы, какъ напр., трахитъ и проч., превращаются въ глины. Капельно-жидкая вода легко растворяетъ всѣ соли: сѣрнистыя соли металловъ окисдируются и превращаются въ сульфаты, точно также какъ сѣрнокислые минералы подъ дѣйствіемъ водъ съ содержаніемъ углекислоты обращаются въ кар-

бонаты и т. д. Эти констатируемыя нами реакціи вообще ничтожны въ сравненіи съ тѣми, которыя должны происходить въ нѣдрахъ земли, гдѣ химическія дѣйствія усиливаются высокой температурой и сильнымъ давленіемъ. Механическая работа жидкой воды тоже весьма энергична. Насъ поражаютъ безконечныя протяженія геогностическихъ образованій, происшедшихъ отъ разрушенія древнихъ породъ подъ дѣйствіемъ воды, или (производя вычисленія) тѣ громадныя массы отложеній и химическихъ растворовъ, которыя современныя наши рѣки отдѣляли отъ материковъ и перенесли въ моря и другія водохранилища. Благодаря постоянству, съ которымъ эти различныя дѣйствія обнаруживаются одновременно въ безчисленномъ множествѣ мѣстъ въ совокупности съ производимыми замерзшей водой механическими разрушеніями, въ теченіи громадныхъ періодовъ времени произошли величественнѣйшія измѣненія и новообразованія.

Прослѣдивъ за просачивающимися въ почву гидрометеорами на всемъ ихъ пути, мы прежде всего замѣчаемъ, что они поглощаютъ изъ воздуха различные газы, какъ кислородъ, азотъ, углекислоту и т. д. Когда затѣмъ капельно-жидкая вода поступаетъ въ пахатную землю, въ почву луговъ, лѣсовъ, садовъ и т. д., то она не бываетъ совершенно чиста, а находится уже въ такомъ состояніи, которое значительно усиливаетъ дѣйствіе ея на содержащіяся въ почвѣ вещества. Затѣмъ вода заимствуетъ растворы изъ почвы, а при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ и изъ растительности; съ такимъ содержаніемъ примѣсей вода проникаетъ въ нѣдра, гдѣ она вслѣдствіе повышенной температуры, притока газовъ изъ нѣдръ земли, минеральныхъ солей и т. под. агентовъ все больше пріобрѣтаетъ способность къ растворяющему и разрушающему дѣйствію. Все здѣсь сказанное о жидкой водѣ еще въ болѣе сильной степени примѣнимо къ находящимся въ подземной атмосферѣ водянымъ парамъ. Съ другой стороны необходимо замѣтить, что живая растительность обратно поглощаетъ въ себя различные растворы изъ воды, остающейся въ верхнихъ слояхъ почвы.

Происходящій здѣсь процессъ чрезвычайно сложенъ, и современныя наши знанія не распространяются на всѣ детали этого процесса. Что часть растворовъ остается въ почвѣ или въ нѣдрахъ земли, доказывается тѣмъ, что и въ настоящее время вода образуетъ минеральныя жилы, и древніе, нынѣ высохшіе, водяные потоки могутъ быть прослѣжены на весьма большихъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ протяженіяхъ въ видѣ минеральныхъ жилъ.

Растворенный въ водѣ кислородъ и влажный воздухъ вызываютъ окисленіе, которое можетъ быть ясно наблюдаемо по тускнѣнію поверхностей минераловъ и металловъ. Свободный азотъ довольно трудно соединяется съ другими элементами, преимущественно съ водородомъ, образуя амміакъ; въ соединеніи съ медленно окисляющимися органическими веществами, или вслѣдствіе дальнѣйшаго разложенія амміака, образуется азотистая и азотная кислоты [1]), весьма сильно дѣйствующія на многія минеральныя вещества. Образующійся отъ азота организмовъ амміакъ въ свою очередь содѣйствуетъ образованію двойныхъ солей ульминовой кислоты. Углекислота образуетъ въ почвѣ безводные и гидратные карбонаты, которые затѣмъ растворяются въ водѣ (или углекислой водѣ); эти дѣйствія именно происходятъ вблизи богатыхъ перегнойными веществами слоевъ почвы, которые преимущественно даютъ много углекислоты. Кромѣ углекислоты отъ разлагающихся животныхъ и растительныхъ веществъ образуются органическія кислоты, какъ, напр., креновая, ульминовая и т. д., которыя вполнѣ или частью растворяютъ минералы, обращая ихъ въ ульминовокислыя

[1]) Преобразованіе азотистыхъ веществъ, по новѣйшимъ изслѣдованіямъ, происходитъ подъ дѣйствіемъ нитромонада, микроба, открытаго г. Виноградскимъ въ Цюрихѣ; онъ поглощаетъ въ себѣ углеродъ и удерживаетъ кислородъ, который онъ затѣмъ соединяетъ съ азотомъ для образованія азотной кислоты.

соли. Въ этихъ ульминовокислыхъ соединеніяхъ растворяются фосфорнокислыя, мышьяковокислыя и сѣрнокислыя соли щелочныхъ земель и тяжелыхъ металловъ и осаждаются въ нихъ въ неизмѣненномъ видѣ. Углекислота и органическія кислоты образуются преимущественно около всасывающихъ воду омертвѣлыхъ корней и подъ гніющей листвой въ лѣсахъ и садахъ; здѣсь онѣ сильно растворяютъ возстановленныя изъ солей окисей соли закиси желѣза или марганца, которыя осаждаются въ видѣ краснаго ила [1]). Въ мѣстахъ дѣйствія органическихъ кислотъ на известь или известковую почву образуются двойныя амміачныя известковыя соли, которыя могутъ переходить въ аморфную углекислую известь и часто осаждаются въ видѣ мягкой, бѣлой, тѣстообразной массы на луговыхъ болотахъ (какъ горовой, озерный мѣлъ и проч.). Пески обезцвѣчиваются этими кислотами.

Попадающая на поверхность почвы вода встрѣчаетъ на ней живую растительность, гніющія органическія вещества, естественныя и искусственныя удобренія и т. д. Часть этихъ веществъ, въ видѣ-ли растворовъ или въ видѣ разложеній, неизбѣжно достигаетъ болѣе глубокихъ слоевъ; но вообще эта часть весьма незначительна, а именно тѣмъ меньше, чѣмъ меньше въ почвѣ содержится некапиллярныхъ промежутковъ, и чѣмъ мельче зерна составныхъ частей почвы. Такъ какъ живая растительность поглощаетъ только растворенныя въ водѣ вещества, а для ея питанія требуется очень много такихъ веществъ, то само собой разумѣется, что большая часть поглощенныхъ водой изъ атмосферы газовъ, солей и проч. расходуется уже въ верхнихъ слояхъ почвы, и на дальнѣйшую глубину проникаютъ сравнительно слабые растворы. Главнѣйшая составная часть примѣсей въ водѣ, проникающей вглубь изъ хорошо фильтрующихъ почвъ, состоитъ изъ углекислоты; затѣмъ слѣдуютъ органическія кислоты, азотистыя вещества и т. под.

Подробныя свѣдѣнія о совершающихся въ верхнихъ слояхъ почвы химическихъ, біологическихъ и механическихъ процессахъ интересующіеся могутъ найти въ различныхъ сочиненіяхъ по почвовѣдѣнію и физикѣ почвы. Указывая на это, мы, тѣмъ не менѣе, считаемъ нелишнимъ вкратцѣ прослѣдить за теченіемъ водъ на болѣе или менѣе значительныя глубины.

Прежде всего необходимо обратить вниманіе на то обстоятельство, что на всякой глубинѣ вода можетъ содержать въ себѣ амміакъ, заимствуемый ею изъ различныхъ породъ, содержащихъ въ себѣ органическія вещества, какъ, напр., извести, смолисто-рухляковаго сланца, глины, изъ подпочвеннаго воздуха и т. д. Водородъ можетъ образоваться отъ разложенія сѣрнистаго водорода металлами или отъ разложенія воды при высокой температурѣ. Разложеніе растворимой сѣры углекислотой образуетъ сѣрнистый водородъ, часто сопровождающій воду артезіанскихъ колодцевъ. Всѣ эти газы могутъ, однако, опять переходить въ другія соединенія, какъ, напр., сѣрнистый водородъ въ присутствіи атмосфернаго кислорода можетъ перейти въ сѣрнистую кислоту и т. д.

Въ водѣ совершенно растворяются всѣ минералы, за исключеніемъ благородныхъ металловъ, алмаза и графита. Само собой разумѣется, что растворимость различныхъ минераловъ различается по продолжительности времени, а также и по другимъ побочнымъ условіямъ растворенія.

Чаще всего происходитъ раствореніе извести. При соприкосновеніи содержащей въ себѣ углекислоту воды съ известью углекислая известь соединяется съ свободной углекислотой, образуя двууглекислую известь, которая растворяется въ водѣ и уносится ею. Средняя или основная фосфорнокислая известь, растворенная въ водѣ съ содержаніемъ углекислоты, разлагаетъ кремнекислыя щелочи, образуя кремнекислую известь и фосфорнокислыя щелочи. Двууглекислая известь и силикатъ извести образуютъ углекислый калій и углекислую известь при освобождающейся кремневой кислотѣ; двууглекислая известь и сѣрнокислая соль закиси желѣза разлагаются такъ, что при этомъ образуются гипсъ и углекислая соль закиси желѣза, тотчасъ-же переходящая въ окись. Силикаты извести разлагаются сѣрнокислой магнезіей, при чемъ образуются силикаты магнезіи и сульфаты извести. Хлористый

---

[1]) Этотъ осадокъ очень часто можно видѣть у многихъ ключей и небольшихъ ручейковъ, преимущественно въ болотистыхъ мѣстностяхъ. Поверхность воды играетъ всѣми цвѣтами радуги; изъ окрестности поглощаются фосфорная и кремневая кислоты вмѣстѣ съ небольшими количествами извести, магнезіи и глинозема. Отчасти черное и коричневое окрашиваніе большею частью глубже лежащихъ хрящей и валуновъ находится въ связи съ этимъ явленіемъ: по этому окрашиванію часто заключаютъ о прежнемъ уровнѣ воды въ случаяхъ пониженія горизонта грунтовыхъ водъ искусственными рвами или вслѣдствіе засухи.

магній тоже разлагаетъ силикаты извести. Углекислая известь разлагаетъ хлористый аллюминій; гидратъ окиси аллюминія или водный глиноземъ осаждается, углекислота выдѣляется, а хлористый кальцій переходитъ въ растворъ. Углекислая магнезія и силикатъ извести даютъ силикатъ магнезіи и углекислую известь. Двууглекислая закись желѣза и силикатъ извести образуютъ кремневокислую соль закиси желѣза и двууглекислую известь. Фосфорнокислая известь и углекислая щелочь разлагаются такимъ образомъ, что образуются углекислая известь и фосфорнокислая щелочь; фосфорнокислая известь и двууглекислая закись желѣза разлагаются, образуя фосфорнокислую закись желѣза и двууглекислую известь. Точно также фосфорнокислая известь разлагаетъ сѣрнокислую закись желѣза и соотвѣтствующую соль окиси; гидратъ окиси желѣза дѣйствуетъ разлагающимъ образомъ на силикатъ извести. Переходъ извести въ сѣрнокислую известь (гипсъ) и ангидридъ былъ нами разсмотрѣнъ выше; гипсъ растворяется въ водѣ и съ органическими веществами образуетъ сѣрнистый кальцій. Точно также гипсъ обладаетъ свойствомъ соединять составныя части сѣрнокислаго амміака въ нелетучія соединенія. Доломитные известняки при разложеніи образуютъ углекислую магнезію и углекислую известь и т. д.

Затѣмъ проникающія воды растворяютъ щелочи породъ, преимущественно натрій; при этомъ образуется въ весьма замѣтныхъ количествахъ частью солянокислыя щелочи, какъ хлористый натрій (поваренная соль), частью углекислыя, какъ сода, и частью сѣрнокислыя, какъ глауберова соль. Углекислыя щелочи разлагаютъ кремнекислую известь и растворы сѣрнокислой извести, сѣрнокислой магнезіи, хлористаго кальція и хлористаго магнія. Кремнекислыя щелочи разлагаютъ сѣрнокислыя и хлорнокислыя соли металловъ и щелочныхъ земель. Растворы кремнекислыхъ щелочей поглощаютъ изъ глиноземныхъ силикатовъ незначительныя количества кремнекислаго глинозема.

Безводная магнезія (окись магнія) трудно растворима въ чистой водѣ. Если-же вода содержитъ въ себѣ сѣрную кислоту, то образуется сульфатъ магнія (горькая соль), легко растворимый въ водѣ и часто въ ней встрѣчающійся; точно также образуется солянокислая магнезія и углекислая магнезія. Двууглекислая магнезія разлагается силикатомъ калія. Содержащаяся въ водѣ уксуснокислая магнезія сильно разлагаетъ полевой шпатъ; точно такъ же дѣйствуетъ и двууглекислая магнезія.

Главными источниками калійныхъ соединеній служитъ полевой шпатъ и подобные ему силикаты, образующіе составныя части кристаллическихъ горныхъ породъ; кромѣ того хлористый калій встрѣчается въ пластахъ каменной соли и въ морской водѣ. Для растворенія калія главнымъ образомъ служитъ азотная кислота, содержащаяся въ проникающей въ почву водѣ; известковая вода можетъ растворять его въ болѣе значительныхъ количествахъ, нежели вода, свободная отъ содержанія извести. Въ водѣ встрѣчаются солянокислые, сѣрнокислые и азотнокислые растворы калія. Силикатъ калія разлагаетъ хлористый натрій и углекислую магнезію.

Если проникающая въ почву вода приходитъ въ соприкосновеніе съ сѣрнистыми металлами, то послѣдніе окисляются и образуютъ легко растворимыя въ водѣ всякаго рода сѣрнокислыя соли.

Изъ кремнекислаго глинозема вода съ содержаніемъ сѣрной кислоты (чаще всего въ теплыхъ ключахъ) выдѣляетъ кремневую кислоту, образуя различные сульфаты, какъ, напр., алюнитъ (квасцовый камень), квасцы и т. под. Вода съ содержаніемъ углекислоты сильно разрушаютъ кремневыя породы; то-же самое производитъ вода съ содержаніемъ сѣрной, соляной и др. кислотъ. При этихъ процессахъ кремневая кислота растворяется и иногда осаждается въ видѣ студенистой массы или въ видѣ опала, колчедана, путемъ просачиванія и т. д.

Здѣсь нѣтъ возможности разсматривать дальнѣйшее образованіе растворовъ, измѣненій и друг. явленій, происходящихъ вслѣдствіе химическаго взаимодѣйствія между просачивающейся водой и подпочвой. Но уже изъ сказаннаго выше можно усмотрѣть, что вода въ каждой породѣ производитъ значительныя измѣненія, которыя съ теченіемъ времени должны вести къ преобразованіямъ, такъ какъ это дѣйствіе происходитъ продолжительно и безпрерывно.

Если подобная вода, различнымъ образомъ обогащенная содержаніемъ всевозможныхъ примѣсей, выступаетъ въ какомъ-нибудь мѣстѣ на дневную поверхность, или если подпочвенной водѣ даютъ гдѣ-либо свободный выходъ, то ка-

чества ея весьма существенно будутъ разниться отъ качествъ химически чистой воды (ср. отд. IV гл. 1). Главнымъ образомъ почти всякая вода содержитъ въ себѣ большее или меньшее количество углекислоты, а также и известковыхъ растворовъ, заимствуемыхъ ею изъ известковыхъ породъ и почти изъ всѣхъ пластовыхъ формацій. Остальныя примѣси въ водѣ чрезвычайно разнообразны. Такъ, напр., бромъ и іодъ встрѣчаются въ водахъ изъ ліаса (чернаго рухляка) и мелафира (чернаго порфира); фторъ встрѣчается въ водѣ изъ слюды; фосфоръ—въ водѣ изъ фосфорнокислыхъ известняковъ; мышьякъ—въ водѣ изъ каменноугольныхъ формацій; боръ—въ водѣ изъ турмалиновыхъ гранитовъ; литій—въ водѣ изъ слюды и турмалиновыхъ кристаллическихъ каменныхъ породъ и сланцевъ; рубидій—въ водѣ изъ каменныхъ породъ съ содержаніемъ слюды, полеваго шпата, мелофира, лепидолита, литинистаго полеваго шпата, трифилина; цезій—въ водѣ изъ каменныхъ породъ съ содержаніемъ лепидолита и трифилина; барій—въ водѣ изъ кристаллическихъ горныхъ породъ; стронцій—въ водѣ изъ базальтовъ и вулканическихъ горныхъ породъ. Магнезія, марганецъ, желѣзо, кобальтъ, никкель, мѣдь встрѣчаются въ растворахъ въ водѣ изъ всѣхъ формацій, точно также и хлористый натръ и другія соединенія натра.

Изъ глинъ и желѣзняковъ грунтовая вода заимствуетъ ванадій; изъ пластовъ галмея (кремнистой цинковой руды), доломитовъ, глинъ и авгитовыхъ породъ она заимствуетъ цинкъ; изъ перидита или хризолита—олово; изъ различныхъ свинцовыхъ рудъ—свинецъ; изъ ртутныхъ рудъ—ртуть и т. д.

Воды, проникающія въ почву сверху внизъ, почти всегда проводятъ нижніе слои растворы верхнихъ слоевъ, какъ напр., соляные, известковые и др.,—которые частью тамъ остаются и переходятъ въ другія соединенія, но частью могутъ также появиться изъ ключей. При сужденіи по заключающимся въ водѣ растворамъ о проходимыхъ ею породахъ это обстоятельство необходимо имѣть въ виду, т. е. при этомъ слѣдуетъ обратить вниманіе не на одни только слои, изъ которыхъ вода непосредственно выступаетъ. Въ спеціальныхъ сочиненіяхъ по геологіи и почвовѣдѣнію приводятся химическія составныя части отдѣльныхъ горныхъ породъ, которыя петрографически сводятся къ двумъ главнымъ разрядамъ: вулканическимъ и осадочнымъ породамъ. Вода съ относительно наименьшимъ содержаніемъ химическихъ растворовъ получается изъ болѣе древнихъ вулканическихъ породъ и кристаллическихъ сланцевъ или соотвѣтственно изъ чистыхъ ихъ детритовъ; затѣмъ—за нѣкоторыми исключеніями—подобная вода получается изъ не покрытыхъ другими формаціями пестрыхъ песчаниковъ, преимущественно въ случаѣ исключительно холодной внутренней циркуляціи воды. Весьма существенное значеніе имѣетъ также время, въ продолженіи котораго вода находилась въ соприкосновеніи съ породой. Воды отъ таянія снѣговъ въ сильно трещиноватыхъ Альпійскихъ известнякахъ могутъ выступать изъ ключей приблизительно химически чистыми; между тѣмъ вода средней температуры, проникающая въ горы средней высоты и плоскогорія, можетъ превратиться въ весьма жесткую ключевую воду. Теплыя воды, естественно, растворяютъ въ себѣ наибольшія количества различныхъ веществъ.

Если содержаніе газовъ или минеральныхъ растворовъ въ водѣ достигаетъ особенно высокой степени, то подобная вода получаетъ названіе минеральной воды. Между минеральными водами прежде всего отличаются тѣ, которыя содержатъ въ себѣ преимущественно углекислоту и которыя подраздѣляются на чистыя углекислыя, щелочныя углекислыя и желѣзистыя углекислыя воды; затѣмъ слѣдуютъ отличающіеся преимуще-

ственнымъ содержаніемъ поваренной соли соляные источники, какъ-то: солянокислые известковые источники, горькія воды, сѣрнокислые известковые источники, сѣрные источники и кремнекислые источники. Изъ углекислыхъ источниковъ преимущественно содержатъ въ себѣ углекислый натръ источники Эмсъ и Виши, Непракъ, Фидерисъ, Вильдунгенъ, Гиссгюбель и изъ русскихъ источниковъ Эссентукскіе № 17 и 18, Екатерининскій въ Боржомѣ; преимущественнымъ содержаніемъ углекислой извести отличаются источники: Риппольдсау, Тейнаръ, Стубица, Неугаузъ, Піетра, Бергалло, Сентъ-Альбанъ; преимущественное содержаніе углекислаго желѣза встрѣчается въ источникахъ: Бланшимонтъ, Клаузенъ, Корсовъ, Аква-ацідула; изъ русскихъ источниковъ можно указать на Желѣзноводскіе; различныя углекислыя соли содержатся въ источникахъ: Лангеншвальбахъ, Либвейда, Обладисъ, Сельтерсъ и др. Почти исключительно одну только поваренную соль содержатъ источники Марсаль, Салинъ, Зальцброннъ, Зальцунгенъ, Ралль, Рейхенгалль, Шлангенбаръ, Соденъ и др.; изъ русскихъ источниковъ можно указать на Старо-русскіе, Столыпинскіе и Друскеникскіе. Источники съ солянокислыми минералами: Наугеймъ, Нидерброннъ, Крейцнахъ, Гомбургъ, Ротенфельдъ, Висбаденъ. Изъ соленыхъ источниковъ съ сѣрно-кислыми солями укажемъ здѣсь на: Киссингенъ, Лимингтонъ, Сенъ-Жерве, Вильдегъ; изъ русскихъ сѣрнистыхъ или сѣрныхъ источниковъ укажемъ здѣсь на Каррасъ въ Пятигорскѣ и Чокракскій источникъ. Изъ соленыхъ источниковъ съ углекислыми солями укажемъ здѣсь на: Вильдбадъ, Бурбонъ-д'Аршамбо, Неутвальдгеймъ и др. Изъ источниковъ горькой воды укажемъ здѣсь на: Динь, Бо, Виндзоръ-Форестъ, Негрепонтъ и др.; солянокислые известковые источники: Омаль, Питкодли, Склефани, Филлатойа и др. Изъ сѣрнокислыхъ соленыхъ источниковъ преимущественно сѣрнокислый натръ содержатъ въ себѣ ключи: Клифтонъ, Сенъ-Жерве, Карлсбадъ, Маріенбадъ, Франценсбадъ, Вармбруннъ, Оффенъ и др., и изъ русскихъ источниковъ Гори, Эссентуки № 4; преимущественно сѣрнокислая известь содержится въ ключахъ: Барбацанъ, Лехе, Бадъ, Баденъ (близъ Вѣны), Креудъ, Банденвейлеръ, Витербо; преимущественное содержаніе сѣрнокислой магнезіи показываютъ источники: Монтмирель, Пилльна, Зейдшютцъ, Гроссъ-Альбертсгофенъ, Бирменсдорфъ. Сѣрные или сѣрнистые источники, обладающіе болѣе или менѣе значительнымъ содержаніемъ сѣрнистаго водорода и раздѣляющіеся на три главныхъ отдѣла: щелочные, сѣрнокислые и углекислые, находятся въ Барежѣ, Баньерѣ, Аахенъ-Буртшейдѣ, Бентгеймѣ, Лангенбрюкенѣ, Боллѣ, Боклемѣ и др.; изъ русскихъ сѣрныхъ или сѣрнистыхъ источниковъ укажемъ здѣсь на Псекунскіе, Пятигорскіе, Тифлисскіе, Сергіевскіе, Горячеводскіе, Каракатайскіе. Къ кремнекислымъ источникамъ, т. е. къ тѣмъ, которые содержатъ въ себѣ значительныя количества кремневой кислоты, принадлежатъ источники: Пломбіеръ, Порла, Мала, гейзеры Исландіи и Новой Зеландіи и проч. Вообще число минеральныхъ источниковъ весьма велико, и ихъ перечисленіе не входитъ въ нашу программу.

Теплые, равно какъ и обыкновенные холодные источники (послѣдніе обыкновенно не содержатъ въ себѣ значительныхъ количествъ минеральныхъ веществъ) весьма часто уже въ мѣстѣ своего происхожденія перетерпѣваютъ нѣкоторыя измѣненія химическаго свойства; эти измѣненія иногда производятся организмами, но въ большей части случаевъ причина этихъ измѣненій состоитъ въ выдѣленіи газовъ, доступѣ къ ключамъ внѣшней воды или, наконецъ, въ механическихъ примѣсяхъ.

Бактеріи, заключающіяся въ водахъ, богатыхъ содержаніемъ желѣза, окисляютъ желѣзныя соли; въ водахъ съ содержаніемъ сѣрнистаго водорода микробы насыщаются сѣрой, которая сгораетъ и выдѣляется въ видѣ сѣрной кислоты. Раковины, улитки, панцырныя инфузоріи поглощаютъ изъ воды известь и кремневую кислоту и прочно удерживаютъ эти выдѣленія. Водоросли въ известковой водѣ поглощаютъ углекислоту и развиваютъ кислородъ, пузырьки котораго покрываются известковой оболочкой, образуя такъ называемый гороховый камень; въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ растительность преимущественно поглощаетъ углекислоту изъ холодныхъ источниковъ, образуется пузырьчатый пористый известковый туффъ и т. д.

Находящаяся почти во всѣхъ ключахъ растворенная двууглекислая известь при соприкосновеніи съ воздухомъ теряетъ часть углекислоты, при чемъ получается осадокъ трудно растворимой углекислой извести. Отсюда въ началѣ такихъ ключей образуются ключевые осадки, травертины или известковые туфы, капельники и т. под. Подобнымъ же образомъ

путемъ испаренія при горячихъ ключахъ образуется кремнистая накипь или кремнистый туфъ.

Кромѣ растворенныхъ въ водѣ веществъ въ ней содержится значительное количество механическихъ примѣсей. Въ подземныхъ потокахъ весьма часто двигаются глина, песокъ и всякаго рода валуны, которые служатъ причиной весьма замѣтныхъ измѣненій количествъ притока (см. гл. 12). Въ песчаниковыхъ материкахъ, напр., передъ настоящей породой встрѣчаются отлогости, образованныя горнымъ муссоромъ; въ изливающіеся изъ нихъ ключи вода уноситъ съ собой весьма замѣтныя количества песку. Этотъ выносъ будетъ обильнѣе, если такіе ключи обдѣланы въ скалахъ безъ приспособленій къ уменьшенію выноса песку изнутри; такимъ путемъ очень часто щели и трещины этой породы на значительномъ разстояніи освобождаются или опоражниваются отъ накопившихся въ нихъ осадковъ и тѣмъ создаются совершенно новыя условія подземнаго водяного потока. Быстро текущіе подземные потоки механически дѣйствуютъ на омываемыя ими породы и продолжаютъ ихъ разрушеніе до обвала. Обратное этому дѣйствію производитъ постоянное отложеніе матеріаловъ съ поверхности почвы, поступающихъ черезъ трещины, щели и т. д. При обвалахъ, часто случающихся въ известковыхъ горахъ, во время сильныхъ дождей цѣлые ручьи съ взмученной водой, камнями и проч. проваливаются въ подпочву. Обвалы горъ или оползни обнажаютъ водоносные пласты и опоражниваютъ громадные подземные резервуары, между тѣмъ какъ обвалившіеся вглубь обломки образуютъ новыя подземныя скопленія воды. Постоянно дѣйствующія на поверхности почвы водоемы углубляютъ свои русла, подмываютъ берега, вслѣдствіе чего какъ поверхностные, такъ и подземные водоемы измѣняютъ свои пути; образующіеся при половодіи наносныя горы запруживаютъ существующіе ключи и измѣняютъ ихъ истоки, а также и водоемкость подземныхъ резервуаровъ, и т. д. Если къ этому еще прибавить землетрясенія и происходящія вслѣдствіе этого дислокаціи въ подпочвѣ, вліяніе воды на объемъ пропитанной ею почвы, дѣйствія существующихъ вулкановъ, моря, измѣняющейся атмосферной теплоты, затѣмъ производимое этими причинами, а также и всякаго рода растительностью, механическое разрыхленіе всѣхъ поверхностныхъ породъ, разрушенія отъ рудничнаго производства и т. д., то сдѣлается вполнѣ понятнымъ, что и динамическія измѣненія въ породахъ играютъ весьма важную роль при теченіи подпочвенныхъ водъ и могутъ существенно измѣнять какъ свойства этихъ водъ, такъ и ихъ направленія. Послѣ вымыванія находящагося въ щеляхъ и трещинахъ песку, служившаго естественнымъ фильтромъ для грунтовыхъ водъ, прежде совершенно чистые ключи дѣлаются мутными; вновь намытыя породы измѣняютъ химическій составъ воды; препятствія истоку имѣютъ своимъ послѣдствіемъ измѣненіе области инфильтраціи и т. д. (см. гл. 12).

Причины динамическихъ измѣненій въ горахъ, долинахъ и низменностяхъ и соотвѣтственно въ подпочвѣ вообще распознаются весьма трудно, и поэтому послѣдствія ихъ для ключей и грунтовыхъ водъ тоже предвидѣть бываетъ гораздо труднѣе, нежели химическія послѣдствія выщелачиваній, такъ что въ этомъ отношеніи остается единственный путь: въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ руководствоваться изученіемъ прежнихъ и настоящихъ вполнѣ выясненныхъ явленій.

Сопоставивъ изъ вышесказаннаго все, касающееся и важное для водоснабженія, (независимо отъ значенія химическихъ свойствъ воды для ея примѣненія), получаемъ слѣдующее:

1. По химическимъ свойствамъ даваемой ключемъ воды или

по свойствамъ грунтовой воды очень часто можно узнать, какія породы соприкасаются съ ней подъ землей, и какія не могутъ съ ней соприкасаться, т. е. можно узнать происхожденіе воды.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ явиться сомнѣніе въ томъ, соприкасается ли выходящій на дневную поверхность грунтовый потокъ и его подземные притоки съ такими формаціями, которыя по свойству поверхности почвы не могутъ быть причислены къ ихъ инфильтраціонной области. Подобные случаи бываютъ тѣмъ чаще, чѣмъ сложнѣе геогностическія условія, преимущественно тамъ, гдѣ вулканическія породы пересѣкаютъ осадочныя, или гдѣ необходимо предполагать взбрасываніе пластовъ и т. д. Какъ съ одной стороны свойство породъ даетъ намъ понятіе о составѣ проникающей ихъ воды, такъ и обратно, послѣдній можетъ служить для заключенія о свойствахъ омываемой водой породы. При шурфованіи для изысканія воды это иногда весьма важно.

2. По періодическому или постоянному измѣненію химическихъ свойствъ воды можно заключить приблизительно о происходящихъ въ почвѣ періодическихъ или постоянныхъ измѣненіяхъ уровня грунтовой воды и о родѣ притоковъ.

При измѣненіи химическихъ свойствъ воды имѣютъ мѣсто тѣ-же соотношенія, что и при измѣненіи ея температуры (см. гл. 8); чѣмъ глубже подъ поверхностью почвы лежитъ проходимый грунтовой водой путь, тѣмъ равномѣрнѣе бываетъ содержаніе въ водѣ растворовъ, и обратно. Но едва-ли гдѣ-либо (развѣ за исключеніемъ артезіанскихъ колодцевъ) появляется на дневную поверхность истокъ подпочвенныхъ водъ, который до оставленія имъ почвы не получаетъ притоковъ, описывающихъ весьма короткій путь отъ поверхности земли до горизонта грунтовыхъ водъ. Если инфильтраціи быстро оставляютъ эти пути, и если онѣ въ значительныхъ количествахъ достигаютъ почвы въ холодномъ состояніи, то онѣ не могутъ растворять значительныя количества породы, и обратно; поэтому, во время такихъ приливовъ онѣ содѣйствуютъ уменьшенію содержанія растворовъ въ ключевой или грунтовой водѣ, и обратно. На этомъ основаніи послѣ продолжительныхъ дождей или таянія снѣговъ количество растворенныхъ въ водѣ веществъ уменьшается и достигаетъ своего maximum'а послѣ продолжительныхъ періодовъ засухи. Изъ наблюденій за интенсивностью этихъ измѣненій можно узнать организмъ ключа. Если существуетъ извѣстная зависимость между различными притекающими съ противоположныхъ сторонъ подземными водяными жилами, то при извѣстныхъ обстоятельствахъ анализы и въ этомъ случаѣ дадутъ намъ нѣкоторыя заключенія. Если вода соприкасается съ различными формаціями, то весьма существенныя измѣненія химическихъ свойствъ обнаружатся преимущественно тогда, когда вслѣдствіе продолжительной засухи или вслѣдствіе значительныхъ истоковъ, горизонтъ грунтовыхъ водъ продолжительное время находится внѣ прикосновенія съ одной изъ различныхъ обыкновенно соприкасающихся съ нимъ формацій, или въ обратномъ случаѣ, если горизонтъ грунтовыхъ водъ подымается до такого уровня, при которомъ онъ соприкасается съ формаціей, до сихъ поръ не соприкасавшейся съ водой. Примѣрами тому могутъ служить грунтовыя воды вблизи населенныхъ мѣстъ, гдѣ подпочва загрязнена до нѣкоторой глубины, которой еще достигаетъ горизонтъ грунтовыхъ водъ, ключи вблизи болотъ, рудниковъ, на моряхъ и т. д.

3. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ обдѣлка ключа улучшаетъ качества воды въ сравненіи съ качествами ея до обдѣлки, такъ какъ послѣ обдѣлки уничтожаются химическіе процессы, прежде совершавшіеся растительностью и организмами у самаго выхода ключа.

4. Механическія примѣси въ видѣ мути воды могутъ подать поводъ путемъ тщательнаго изученія свойствъ породы найти надежныя средства для предупрежденія образованія мути или устраненія вредныхъ ея послѣдствій или же для опредѣленія мѣста происхожденія ключа.

Безпрерывныя химическія и динамическія измѣненія породъ, производимыя водой, имѣютъ также значеніе въ отношеніи производительности и постоянства ключей, о чемъ подробнѣе будетъ изложено ниже (см. гл. 12).

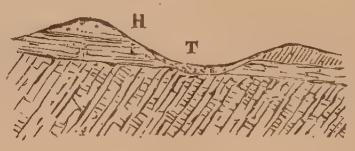
10. Источники въ различныхъ формаціяхъ.

Нахожденіе образующихся въ различныхъ горныхъ формаціяхъ большихъ или малыхъ ключей (называемыхъ иногда родниками, или водометами) съ давнихъ поръ имѣетъ весьма важное значеніе и привлекаетъ къ себѣ вниманіе людей. При устройствѣ гдѣ-либо осѣдлой колоніи раньше всего всегда отыскивали воду для питья, и не мало удивительныхъ прекрасныхъ водяныхъ истоковъ въ нашихъ горахъ и долинахъ въ древнія времена почитались, какъ святыни, такъ какъ этимъ имѣли въ виду предохранять ключи отъ злоупотребленія и порчи.

Вообще соотвѣтственно приведеннымъ нами въ гл. 5, 6 и 7 соображеніямъ и условіямъ, ключи будутъ тѣмъ обильнѣе и постояннѣе, чѣмъ глубже ихъ начала расположены подъ поверхностью окружающей мѣстности, чѣмъ легче вода можетъ проникать въ почву этой мѣстности, и чѣмъ мощнѣе бываютъ служащіе для питанія ключей подземные резервуары.

Такимъ образомъ ключи, могущіе служить для удовлетворенія извѣстной потребности въ водѣ, должны быть отыскиваемы только въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ имѣется достаточной величины область осадковъ, въ предположеніи умѣреннаго количества просачивающейся воды на единицу площади почвы. Получаемые при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ результаты могутъ быть опредѣлены изъ приведенныхъ выше (см. гл. 6) соображеній. Легко видѣть, что во всѣхъ случаяхъ область инфильтраціи, даже и тогда, когда она не тождественна съ топографической областью осадковъ, возростаетъ по мѣрѣ уменьшенія высоты данной мѣстности надъ уровнемъ моря. Представимъ себѣ, что на фиг. 18 черезъ *H* и *T* проведены горизонтальные разрѣзы; очевидно, что разрѣзъ, проведенный черезъ *H*, захватитъ одну только верхнюю часть и изобразитъ собой сравнительно небольшую только замкнутую площадь, которая, однако, во всякомъ случаѣ больше служащей для ея питанія области осадковъ; между тѣмъ проведенный черезъ точку *T* разрѣзъ захватитъ обѣ вершины, лежащую надъ *T* долину и случайно даже долины, расположенныя по сторонамъ и т. д. Надъ проведенными черезъ *H* горизонтальными разрѣзами расположенъ сравнительно небольшой резервуаръ грунтовой воды, находящійся въ положеніи весьма опасномъ для истеченія воды, такъ какъ по всѣмъ направленіямъ имѣются значительные уклоны, и черезъ сравнительно небольшія трещины и щели этотъ резервуаръ можетъ весьма быстро и незамѣтно опорожниться. Если даже подобные отводы воды въ данное время еще не существуютъ, то опасность ихъ будущаго появленія тѣмъ больше, чѣмъ круче склоны и чѣмъ меньше сопротивляемость породы постоянному дѣйствію на нее воды. Для мѣста *T*, наоборотъ, обстоятельства складываются гораздо благопріятнѣе. Прежде всего здѣсь возможны такія условія, при которыхъ область инфильтраціи можетъ быть больше топографической области осадковъ, такъ какъ горизонтальный разрѣзъ захватываетъ и тѣ площади, которыя расположены и съ другой стороны топографическаго водораздѣла. Проникающія въ почву инфильтраціи, если только онѣ по свойствамъ породы безпрепятственно могутъ выходить на дневную поверхность, легче всего появятся на ней именно въ долинѣ, такъ какъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ здѣсь большею частью вода встрѣчаетъ меньшія сопротивленія, нежели она встрѣтитъ при продолженіи своего подземнаго движенія въ долинѣ или надъ ближайшими горными хребтами.

Фиг. 18.



Чѣмъ уровень ключа находится ближе отъ уровня моря, тѣмъ больше будетъ его производительность при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ.

Изъ этихъ предварительныхъ замѣчаній, однако, не слѣдуетъ заключить, что на болѣе значительныхъ высотахъ надъ долинами не могутъ встрѣчаться обильные ключи; эти замѣчанія должны быть поняты относительно. Такъ, на краяхъ обширныхъ плоскихъ возвышенностей и на склонахъ высокихъ горъ, какъ напр., Альпъ, очень часто встрѣчаются весьма мощные и безпрерывные ключи; если же черезъ начало каждаго ключа провести горизонтальный разрѣзъ, то всегда можно найти, что дѣйствительная производительность ключа меньше, нежели вычисленная помноженіемъ всей плоскости, получаемой при горизонтальномъ разрѣзѣ, на соотвѣтствующее внутреннимъ и внѣшнимъ условіямъ инфильтраціонное число. Наоборотъ,

глубоко расположенные ключи при неблагопріятныхъ геогностическихъ формахъ горъ могутъ давать сравнительно небольшія количества воды, т. е., обладать небольшой областью инфильтраціи и незначительнымъ грунтовымъ резервуаромъ.

Такимъ образомъ изученіемъ трехъ факторовъ: области инфильтраціи, свойства подпочвы и величины подпочвеннаго резервуара вполнѣ опредѣляется организмъ каждаго ключа, такъ какъ количество проникающей воды и зависимости его отъ находящейся на поверхности почвы растительности и проч. могутъ быть опредѣлены безъ затрудненій. Общее разсмотрѣніе этого вопроса было нами приведено выше въ гл. 5 и 6. Первые же три фактора, стоящіе въ тѣсной между собой связи къ сожалѣнію, бываютъ намъ извѣстны только въ небольшомъ числѣ случаевъ. Для ихъ опредѣленія требуется точное геогностическое изученіе не только разсматриваемой части земной поверхности, но главнымъ образомъ и условій подпочвы, существованія взбрасываній, трещинъ, щелей, неправильностей и проч. Эти геогностическія опредѣленія могутъ быть сдѣланы различными путями; наиболѣе дешевый, но къ сожалѣнію чаще всего наименѣе надежный, способъ состоитъ въ заключеніи о подпочвѣ по свойствамъ поверхности. Но опредѣленіе по этому способу должно быть поручено только опытному въ топографическихъ съемкахъ геологу. Болѣе надежныя въ этомъ отношеніи бываютъ непосредственныя свѣдѣнія, добытыя путемъ пробныхъ буреній и построенныхъ на нихъ профилей. Но эти свѣдѣнія не вполнѣ выясняютъ намъ самыхъ главныхъ вліяющихъ условій, указанныхъ нами въ гл. 7, а именно объема трещинъ и щелей въ породѣ и водоемкости окружающихъ ихъ породъ. Въ этомъ отношеніи обыкновенно надо довольствоваться различными болѣе или менѣе вѣроятными предположеніями. Конечно, всякое окончательное рѣшеніе по данному вопросу должно быть принято съ величайшей осторожностью.

Очень часто принято впередъ приписывать отдѣльнымъ геогностическимъ формаціямъ весьма слабую, а другимъ весьма сильную способность къ образованію ключей; этимъ поддерживаютъ то мнѣніе, что одна уже геологическая классификація сама по себѣ даетъ достаточныя данныя для необходимыхъ заключеній объ образованіи ключей. Но это мнѣніе совершенно неправильно. Главнымъ образомъ какъ мы это видѣли выше въ гл. 7. происхожденіе ключей обусловливается прежде всего происходившими въ теченіи длинныхъ періодовъ времени раздробленіями породъ на отдѣльныя глыбы, куски, жилы — вообще нарушеніями породъ,—и на эти явленія должно быть обращено особенное вниманіе.

Многіе выдающіеся ученые въ цѣлой серіи разсужденій и трактатовъ пытались установить общіе тезисы и правила, касающіеся ключей въ различныхъ геологическихъ формаціяхъ; какъ краткій примѣръ подобныхъ разсужденій, мы приводимъ здѣсь главные выводы, приводимые графомъ Герикаръ де-Тюри въ своемъ сочиненіи [1]) и перешедшіе во многіе другіе труды по этому вопросу.

„Въ первозданныя или первопериодныя горныя области (къ которымъ по его терминологіи относятся: гранитъ, гнейсъ, слюдяной сланецъ, глинистый сланецъ, порфиръ, эвритъ, зеленый камень и рогообманковая порода, змѣевикъ, эйфотитъ, кварцевыя скалы и первозданный известнякъ), вода можетъ проникать весьма трудно и большей частью она стекаетъ по поверхности этихъ породъ. Ключи хотя весьма часты, но сравнительно ничтожны, преимущественно въ гранитѣ [2]). Въ горныхъ породахъ, состоящихъ изъ напластованныхъ

[1]) Considérations géologique et physique sur la cause du jailissement des eaux etc. (1829).

[2]) Геймъ въ своемъ сочиненіи о ключахъ говоритъ: въ высокихъ горахъ происходитъ такая масса нарушеній напластованій, такая масса изломовъ пластовъ и неправильныхъ щелей,

гнейсовъ, глинистыхъ сланцевъ, эвритовъ, кварцевыхъ скалъ и первозданныхъ известняковъ ключи бываютъ обильные, и весьма часто встрѣчаются теплые ключи.

Въ переходныхъ горныхъ областяхъ (сѣрой ваккѣ, трауматовомъ сланцѣ, переходномъ известнякѣ, переходномъ гранитѣ и порфирѣ, гнейсѣ, слюдяномъ сланцѣ и змѣевикахъ, кварцевыхъ скалахъ переходныхъ рогообманковыхъ породахъ, гипсѣ), преимущественно въ швахъ между переходной и первозданной горной породой, очень часто находятъ воду въ изобиліи, и ключи въ подобныхъ областяхъ весьма многочисленны; въ гнейсахъ, глинистыхъ сланцахъ и сланцевыхъ породахъ количество ключей не весьма велико; оно нѣсколько больше въ переходномъ известнякѣ, преимущественно тогда, когда эти известняки бываютъ со внутренними пустотами. Эти породы бываютъ весьма богаты теплыми ключами.

Во вторичныхъ флецовыхъ горныхъ областяхъ (каменноугольный песчаникъ, пестрый глинистый песчаникъ, плитный песчаникъ, альпійскіе, юрскіе и мѣловые известняки, флецовый или второпеpіодный гипсъ) встрѣчаются немногочисленные, но обильные ключи, преимущественно въ большихъ массахъ альпійской извести и юрскихъ известняковъ. Эти породы, подобно известнякамъ переходныхъ горныхъ областей, содержатъ въ себѣ многочисленныя пустоты или полости, въ которыхъ встрѣчаются озера, подземныя рѣки и ледъ. На отлого напластованныхъ частяхъ этихъ горныхъ цѣпей встрѣчаются воронки (провалы, пропасти), черезъ которыя опускаются поверхностныя воды, поступающія затѣмъ въ эти полости и проч. и опять выходящія на дневную поверхность въ видѣ весьма мощныхъ ключей. Въ гипсовыхъ горахъ съ каменной солью тоже встрѣчаются полости, и вода, протекающая черезъ эти породы, вслѣдствіе растворенія пластовъ каменной соли, иногда вызываетъ обвалы земли на громадныхъ протяженіяхъ. Верхнія напластованія аммонитовыхъ известняковъ, глинистыхъ известняковъ, известняковъ съ трахитами, энкринитами и белемнитами, эолитовыхъ известняковъ и т. д. въ различныхъ своихъ швахъ между пластами содержатъ многочисленные обильные ключи. Если мѣловидный известнякъ расположенъ глубоко подъ поверхностью почвы и сверху покрытъ позднѣйшими формаціями, то внутри его скрываются болѣе или менѣе обильные ключи, которые должны появляться въ породахъ, подстилающихъ мѣловые известняки; подъ этими большими мѣловыми массами и въ швахъ между ними и глиняными пластами глинистыхъ известняковъ съ аммонитами содержатся ключи, которые выступаютъ на подошвахъ большихъ долинъ въ мѣловыхъ горахъ. Вторичныя флецовыя горныя области содержатъ въ себѣ также и много минеральныхъ ключей.

Третичныя флецовыя горныя области представляютъ еще болѣе благопріятныя условія для проникапія воды, нежели вторичныя. Гончарная глина съ песчаными прослойками, цератитовый известнякъ, хрящевато-известковый песокъ или песчаникъ, отдѣляющій глину отъ цератитоваго известняка и кажущійся началомъ его напластованія, гипсъ съ его верхними и нижними мергельными слоями, большіе пласты мергеля со слоями глины, кварцевый песокъ съ его массами песчаника, прѣсноводный известнякъ съ его мергелями, наконецъ, трахиты (мельничные камни) съ ихъ глинистыми прослойками — всѣ эти формаціи, въ зависимости отъ глубины ихъ залеганія и различныхъ свойствъ мѣстности ихъ нахожденія, въ своихъ междупластовыхъ швахъ содержатъ болѣе или менѣе значительныя водохранилища. Вообще воды со всѣхъ этихъ горныхъ областей имѣютъ среднюю температуру мѣстности, въ которой онѣ появляются.

Даже въ наносныхъ горныхъ областяхъ встрѣчаются весьма обильные ключи наибольшимъ обиліемъ отличаются тѣ ключи, которые находятся въ швахъ между этими наносами и подстилающими ихъ породами болѣе ранней формаціи. Въ наносныхъ материкахъ тоже встрѣчаются провалы (воронки, пропасти и проч.), въ которые опускаются ручьи и даже рѣки, и гдѣ они теряются и протекаютъ подъ землей до тѣхъ поръ, пока гдѣ-нибудь опять могутъ выйти на дневную поверхность.

Въ верхнихъ массахъ вулканическихъ горныхъ областей встрѣчается весьма мало ключей; наоборотъ, внутри этихъ горъ встрѣчаются полости съ подземными озерами, изъ которыхъ выступаютъ весьма обильные ключи. Почти всѣ появляющіяся въ этой формаціи воды представляютъ собой минеральныя воды; сюда преимущественно принадлежатъ гейзеры, грязные вулканы и т. под.

что горныя массы, по крайней мѣрѣ, въ поясѣ осадочныхъ камней, часто даже въ области кристаллическихъ сланцевъ, гранита и проч., вообще оказываются проницаемыми для воды.

На морскихъ берегахъ и въ срединѣ морей встрѣчаются многочисленные прѣсные ключи.

Въ заключеніе приведенныхъ правилъ Герикаръ де-Тюри замѣчаетъ, что при всѣхъ напластованныхъ другъ на друга породахъ весьма трудно отличить, изъ какой именно формаціи происходитъ вода.

Подобныя же свѣдѣнія можно встрѣтить въ прежнихъ сочиненіяхъ объ артезіанскихъ колодцахъ, о происхожденіи ключей, а также и въ руководствахъ по геогнозіи.

Съ своей стороны, ко всѣмъ этимъ схожимъ между собой соображеніямъ, мы можемъ присовокупить слѣдующее:

Изучая ближе различныя геологическія формаціи, можно замѣтить, что напластованныя каменныя породы большей частью весьма мало отличаются другъ отъ друга по своему составу; главныя составныя части отдѣльныхъ слоевъ состоятъ преимущественно: изъ кварца, глины и углекислой извести. Исключенія составляютъ только ангидридъ (безводный гипсъ), гипсъ, угли, желѣзистые пририты, фосфаты и т. под., которые, впрочемъ, въ сравненіи съ другими пластами встрѣчаются весьма рѣдко.

Между всѣми этими пластами (за исключеніемъ развѣ мощныхъ пластовъ глины и мергеля) собственно нѣтъ ни одного, который при всякомъ его положеніи можно было бы считать окончательно водонепроницаемымъ или постоянно водопроницаемымъ. То или другое изъ этихъ свойствъ существуетъ только при извѣстныхъ условіяхъ. Пласты, напр., известняковъ, встрѣчаемые во всѣхъ формаціяхъ, сильно трещиноваты и вслѣдствіе этого пропускаютъ очень много воды; сами по себѣ известковыя породы, даже не трещиноватыя, отличаются различной проницаемостью и частью даже бываютъ почти совершенно непроницаемы для воды (какъ напр, отдѣльные виды мрамора). То-же самое можно сказать и о песчаникахъ, также встрѣчающихся во всѣхъ формаціяхъ. Никогда нельзя окончательно утверждать, что напр., тріасовые песчаники и юрскіе известняки легко проницаемы водой; точно также нельзя вообще утверждать, что молассы (лигнитные песчаники), новые красные песчаники, гнейсъ, гранитъ и проч. при всѣхъ обстоятельствахъ водонепроницаемы, такъ какъ между послѣдними формаціями бываетъ множество разновидностей особаго сложенія, а также и много трещиноватыхъ.

Кромѣ того проницаемость, хотя въ меньшей степени, зависитъ и отъ свойствъ фильтруемой и проникающей черезъ породу воды.

Фильтрація чистой воды при соотвѣтственномъ напорѣ временно является неограниченной и возможной черезъ всѣ породы и почвы; опыты съ кусками различныхъ породъ показали, что наименьшей проницаемостью обладаютъ ангидриты, глины, болѣе древнія вулканическія породы, кристаллическіе сланцы, трауматовые, глинистые и квасцовые сланцы, кремнистые или точильные сланцы, сланцоватыя глины, большая часть пластовъ новыхъ красныхъ песчаниковъ, и смолисто-рухляковыхъ мергелей формаціи цехштейна, слоистые суглинки и глинистые песчаники, мелкозернистые песчаники третичной формаціи и т. под. Хотя часть новѣйшихъ обломочныхъ породъ пропускаетъ сквозь себя весьма мало воды (какъ напр., ѓіалиты и проч.), но между ними находятся нѣкоторыя легко проницаемыя породы, преимущественно санидины (разновидности стекловатаго полеваго шпата) и различные пористые виды базальта. Фильтрація нечистой воды, наоборотъ, является временно ограниченной. Въ зависимости отъ содержащихся въ водѣ растворовъ или механическихъ примѣсей поры проникаемаго водой камня болѣе или менѣе быстро засоряются, причемъ проницаемыя породы могутъ превратиться въ непроницаемыя. Подобному превращенію преимущественно подвержены обыкновенно весьма проницаемые песчаники.

О производимыхъ водой химическихъ измѣненіяхъ мы упомянули выше. Гнейсы и граниты легко вывѣтриваются въ глинистыя водонепроницаемыя почвы, точно такъ-же какъ и въ большинствѣ случаевъ новые красные песчаники, порфиры и т. под. Путемъ инкрустаціи или натека расщепленныя и раздробленныя на куски породы—преимущественно извести—могутъ опять слипаться и стать непроницаемыми и т. д.

Такимъ образомъ нельзя вообще сказать, что данная формація съ давняго времени обладала одинаковой проницаемостью для воды, а также что она сохранитъ свою непроницаемость и въ далекомъ будущемъ. Въ этомъ отношеніи здѣсь происходятъ постоянныя измѣненія.

Приведенныя соображенія относятся также къ структурѣ породъ, имѣющей весьма замѣтное вліяніе на существованіе ключей. Щели, трещины

полости и т. д. постоянно образуются вновь; нѣкоторыя изъ нихъ заполняются, цѣлыя массы породы сливаются вмѣстѣ, а новыя образуются.

Отсюда слѣдуетъ, что примѣненіе общихъ правилъ относительно содержанія воды въ различныхъ формаціяхъ должно быть произведено съ весьма большой осторожностью; въ практикѣ встрѣчается масса случаевъ, не согласующихся съ этими правилами.

Такимъ образомъ нельзя категорически сказать, что въ той или другой формаціи встрѣчается много или мало ключей, или-же они совсѣмъ не встрѣчаются. Въ формаціяхъ, считаемыхъ самыми неблагопріятными для образованія ключей, какъ, напр., въ гранитахъ, гнейсахъ и т. д., могутъ встрѣтиться малые или большіе ключи, такъ какъ вообще никогда нельзя достовѣрно знать, не получается-ли вода изъ налегающихъ пластовъ; наоборотъ, въ наиболѣе благопріятныхъ для образованія ключей третичныхъ формаціяхъ или наносахъ иногда поиски ключей могутъ оказаться напрасными. Рѣшающій моментъ, какъ это неоднократно упоминалось выше, кроется въ болѣе или менѣе значительной емкости трещинъ и щелей и ихъ приспособленности для истока воды (см. гл. 7). Но этотъ вопросъ въ каждомъ данномъ случаѣ рѣшается спеціальными изслѣдованіями.

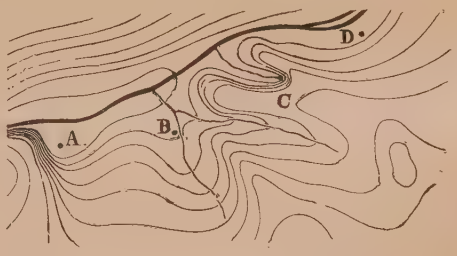
При изысканіи ключей могутъ быть полезны слѣдующія указанія.

1. Выше (гл. 5) мы указали на внѣшнее различіе проницаемой мѣстности отъ непроницаемой. Если въ данномъ случаѣ имѣемъ дѣло съ проницаемой почвой, то на возвышенныхъ мѣстахъ встрѣтится весьма мало ключей; значительное число ключей или отдѣльные обильные ключи появляются въ долинахъ, и началомъ всякаго воднаго потока всегда служитъ ключъ. Въ непроницаемой, т. е. въ малопроницаемой мѣстности, большей частью встрѣчается множество небольшихъ ключей, и больше на горахъ и склонахъ, нежели въ долинахъ.

Бельгранъ въ своемъ сочиненіи [1]) приводитъ наружные признаки, по которымъ для области теченія р. Сены можно узнать различіе между проницаемыми и непроницаемыми частями области; подобныя правила примѣнимы и для другихъ мѣстностей.

2. Многіе ключи представляютъ собой исключительно только сливные стоки протекающаго подъ ними грунтоваго потока. Причина ихъ появленія въ подобномъ случаѣ кроется главнымъ образомъ въ видѣ поверхности мѣстности (см. гл. 7) и въ измѣненіи свойствъ матеріала водоноснаго пласта; въ проницаемой, а равно и въ мало проницаемой почвѣ подобные ключи часто являются въ мѣстахъ A, B, C, D (фиг. 19), къ которымъ обращены вогнутыя стороны горизонтальныхъ кривыхъ. Проникающія въ долину грунтовыя воды здѣсь текутъ по противоположнымъ направленіямъ и большей частью въ извилинахъ не находятъ требуемаго поперечнаго сѣченія для дальнѣйшаго подземнаго своего движенія, вслѣдствіе чего онѣ выступаютъ на дневную поверхность.

Фиг. 19.



Описанное явленіе представляетъ собой одинъ изъ наиболѣе знакомыхъ и наиболѣе естественныхъ фактовъ, дѣйствительно часто имѣющихъ мѣсто. Парамель въ своемъ сочиненіи [2]) говоритъ: всякій знакомый съ правилами теченія поверхностныхъ водоемовъ легко можетъ находить закрытыя водяныя жилы и прослѣдить ихъ шагъ за шагомъ, такъ какъ оба этихъ водяныхъ потока слѣдуютъ однимъ и тѣмъ же законамъ и обнаруживаютъ одни и тѣ же явленія. Всякая долина, всякая выемка, всякое ущелье, всякій логъ и т. д. имѣетъ выходящій

[1]) Belgrand, M. La Seine. Régime de pluie, des sources, des eaux courantes. Paris, 1872.

[2]) Paramelle. L'art de decouvrir les sources.

на дневную поверхность или скрытый ключъ. Когда отъ сильныхъ дождей въ какой-нибудь извилинѣ мѣстности образуется поверхностный водяной потокъ, то подъ землей какъ разъ по линіи поверхностнаго потока образуется грунтовый потокъ и т. д. Къ подобному взгляду присоединяется и Луббергеръ [1]). Однимъ изъ нагляднѣйшихъ примѣровъ подобнаго явленія можетъ служить ключъ ручья Фиша-Дагницъ, выходящій въ кругообразной извилинѣ почвы при Гашендорфѣ (Вѣна): въ этотъ ключъ притекаетъ часть грунтоваго потока Вѣнско-Неуштадтской равнины, дающаго вблизи ключа около 400—500 литр. воды въ секунду. Протекающій подъ нимъ грунтовый потокъ продолжаетъ затѣмъ питать выходящій изъ этого ключа ручей, такъ что на разстояніи нѣсколькихъ километровъ ниже истока, при Зигерсдорфѣ, количество воды составляетъ уже около 2 куб. метр. въ секунду. Менѣе рѣзкіе примѣры встрѣчаются вездѣ во множествѣ, такъ какъ наибольшая часть всѣхъ ключей появляется такимъ именно путемъ.

3. Въ правильно напластованныхъ формаціяхъ ключи постоянно выступаютъ у выходныхъ концовъ пластовъ. Если выходной конецъ пласта круто срѣзанъ и въ вертикальномъ направленіи мало трещиноватъ, то въ большинствѣ случаевъ находимъ цѣлый рядъ небольшихъ ключей; если этотъ конецъ пласта болѣе отлогъ и покрытъ валунами и проч., то маленькіе ключи скопляются въ валунахъ и образуютъ отдѣльные большіе ключи, обыкновенно появляющіеся у подножья насыпной покатости. Всѣ ключи на выходныхъ концахъ пластовъ будутъ относительно весьма обильны, если образующая ключъ порода помимо слоистаго своего строенія имѣетъ еще вертикальную трещиноватость.

Вообще слоистыя горныя породы раздѣляются на цѣлый рядъ слоевъ или пластовъ, которые по сравненію другъ съ другомъ не имѣютъ тождественныхъ между собой свойствъ, и въ которыхъ на раздѣльныхъ поверхностяхъ имѣются хотя небольшіе промежутки. Изъ этихъ-то промежутковъ вытекаетъ проникшая туда вода, которая течетъ по направленію уклона пластовъ къ выходнымъ ихъ концамъ. Въ весьма многихъ мѣстахъ центральныхъ Альповъ нерѣдко можно встрѣтить такое явленіе, что одна сторона горной цѣпи покрыта роскошной растительностью, между тѣмъ какъ противоположный склонъ совершенно обнаженъ. Изслѣдуя это явленіе, мы увидимъ, что оно стоитъ въ связи съ недостаткомъ или отводомъ ключевой воды, который въ свою очередь обусловленъ положеніемъ слоевъ. Атмосферные осадки (воды) скопляются на отлогостяхъ пластовъ и опускаются по направленію этихъ пластовъ, протекая по нимъ до тѣхъ поръ, пока въ концахъ пластовъ выступаютъ на дневную поверхность въ видѣ ключей; наоборотъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ расположены высоко поднятые концы пластовъ, существуетъ сильный недостатокъ воды. Прекраснымъ примѣромъ подобнаго появленія ключей можетъ служить ключъ „тихій Реусъ“ между Альторфомъ и Эрстфельдомъ (въ Швейцаріи), который при наинисшемъ даже стояніи воды даетъ 1 куб. метръ воды въ секунду; этотъ ключъ выходитъ на дневную поверхность у подножья песчаниковаго откоса Гофауленской группы Альповъ. Такой же прекрасный примѣръ представляетъ собой знакомый всѣмъ посѣтителямъ Сенти ключъ, выходящій у конца цѣпи Альпійскихъ плоскогорій у Швенди. Нѣкоторые другіе примѣры будутъ нами приведены ниже (см. отд. II).

4. Если замѣчаютъ, что горная порода пересѣкается вулканическими породами (гранитами, фонолитами, базальтами и т. под.), то можно считать вѣроятнымъ появленіе ключей вблизи подобныхъ прорывовъ или пересѣченій породъ. Причина выхода воды у выходныхъ концовъ такихъ породъ кроется въ образованіи прожилковъ, происшедшемъ при прорывѣ огненно-жидкихъ массъ черезъ осадочную породу; при этомъ образуются условія, наиболѣе благопріятствующія скопленію значительныхъ количествъ инфильтрацій (см. гл. 7).

На Баварскихъ Альпахъ неизмѣнно подтверждается приведенное выше явленіе, состоящее въ томъ, что въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ горныя вершины изъ базальта или базальтоваго туфа подымаются надъ юрской формаціей, всегда находится вода. Цинкенъ въ своей замѣткѣ объ образованіи ключей [2]) говоритъ: „горными жителями давно уже замѣчено, что на выходныхъ концахъ горныхъ жилъ или пластовъ находится множество ключей; при этомъ направленіе

[1]) Lnbberger. Die Theorien d. Quellenbildung. Journal f. Gasbel u. Wasserv. т. 27, стр. 12, 1883 г.

[2]) Poggendorf's Annalen, т. 78, стр. 180, 1849 г.

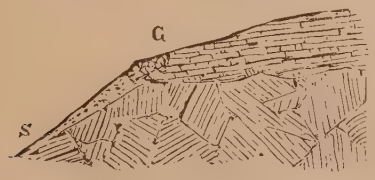
жилъ или пластовъ можетъ быть опредѣлено по этимъ ключамъ и т. д.“ Доказательствомъ этого вывода служатъ многія карты горныхъ округовъ, которыми еще прежніе рудокопы руководствовались при рудныхъ разработкахъ.

5. Подобныя же явленія замѣчаются и въ тѣхъ случаяхъ, когда структура породъ мѣняется, какъ напр., если раздробленная на отдѣльныя глыбы порода (детритъ) смѣшана съ неразрушенными или однородными пластами, при чемъ получаются промежутки, которые могутъ наполняться грунтовой водой легче, нежели промежутки подошвъ или постели мѣсторожденій. Въ подобныхъ случаяхъ ключи всегда выступаютъ надъ неразрушенными или равномѣрно напластованными породами.

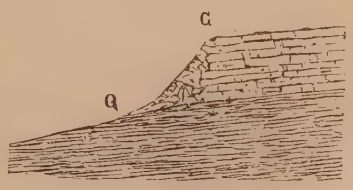
Сюда относятся иногда весьма значительные обвалы глыбъ и обломовъ, встрѣчающіеся во многихъ формаціяхъ, даже и въ кристаллическихъ сланцевыхъ породахъ и гранитахъ; подстилающая не разрушенная порода задерживаетъ инфильтрующуюся въ прожилки воду и, въ зависимости отъ вида сборнаго бассейна, направляетъ ее въ одну точку или заставляетъ ее выступать въ видѣ множества отдѣльныхъ мелкихъ ключей. Изгибы или надломы пластовъ при которыхъ подстилающая порода менѣе разрушается, нежели настилающая, вызываетъ подобныя же явленія.

6. Если другъ надъ другомъ налегаютъ двѣ формаціи, изъ которыхъ верхняя мягка и трещиновата, а нижняя тверда и мало водопроницаема, то въ узкихъ разсѣлинахъ появляется множество маленькихъ ключей, а въ мѣстахъ, гдѣ почва обнаруживаетъ осѣданія, появляются даже довольно обильные ключи. Иногда мѣсто дѣйствительнаго выхода G (фиг. 20) закрыто обвалами глыбъ, и ключъ опять появляется на дневную поверхность внизу при S. Если будетъ дознано, что впереди находится подобная разсѣлина, то при отысканіи ключей необходимо

Фиг. 20.



Фиг. 21.



прослѣдить ту линію, на которой обнаруживаются верхнія глыбы подстилающей породы, такъ какъ эти послѣднія лежатъ ближе къ возможнымъ выходамъ ключей, между тѣмъ какъ глыбы верхней породы скатываются по откосамъ довольно далеко внизъ и могутъ навести на неправильные слѣды.

Такъ какъ въ упомянутомъ случаѣ вообще нижній склонъ горы бываетъ круче верхняго, то при обратныхъ условіяхъ это явленіе происходитъ, когда мягкая порода представляетъ собой породу непроницаемую, а болѣе твердая и трещиноватая налегаетъ на ней. Въ этомъ случаѣ болѣе крутой отвалъ бываетъ вверху, а отлогій внизу, при чемъ это весьма характерно выражено тупымъ угломъ поверхности, такъ что нетрудно найти ключи, проходящіе разсѣлину при G и выходящіе на дневную поверхность при Q (фиг. 21).

Подобное появленіе ключей можно прекрасно видѣть на склонахъ Шварцвальда и Вогезовъ по направленію къ Рейнской долинѣ, гдѣ пестрый песчаникъ налегаетъ частью на гранитъ, частью на кристаллическіе сланцы и т. д.; вездѣ на раздѣлахъ пластовъ обѣихъ породъ выступаютъ ключи, частью весьма обильные. Здѣсь всегда имѣетъ мѣсто изображенный на фиг. 20 случай, такъ какъ отвалы подстилающей породы всегда круче уклоновъ поверхности песчаниковъ. Изображенный на фиг. 21 случай часто встрѣчается въ юрѣ, преимущественно тамъ, гдѣ мощныя глины или мергеля расположены подъ трещиноватыми известняками; и въ этомъ случаѣ большей частью появляются прекрасные ключи. Точно также въ

тріасовыхъ известнякахъ надъ непроницаемыми слоями часто скопляются значительныя количества инфильтраціи, выступающихъ въ видѣ ключей у разсѣлинъ. Къ наиболѣе извѣстнымъ примѣрамъ этого рода относятся выступающіе надъ Верфенскими сланцами ключи Вѣнскаго водопровода: Кайзербрунненъ и Стиксенштейнскій ключъ. Первый изъ нихъ изображенъ на фиг. 22 въ его состояніи до обдѣлки; въ настоящее время онъ обдѣланъ и, какъ извѣстно, служитъ для водоснабженія города Вѣны. Этотъ ключъ лежитъ въ долинѣ между Шнеебергомъ и Ракальпами надъ Гиршвангомъ въ котловинѣ, образуемой обрушенной стѣной прежняго рудообжигательнаго стойла и обозначаемой на картахъ подъ названіемъ Вассерефенъ; въ среднемъ онъ даетъ около 800 литровъ воды въ секунду; въ этомъ ключѣ можно видѣть замѣтную часть дренажа Шнееберга, плоская возвышенность котораго можетъ считаться питательнымъ резервуаромъ этого ключа. Обдѣлка этого ключа будетъ нами разсмотрѣна ниже (см. отд. II).

Фиг. 22.

Точно также громадные ключи Дюи, служащіе для водоснабженія Парижа, выходятъ изъ раздѣловъ между пластами трещиноватыхъ среднихъ третичныхъ породъ и зеленыхъ мергелей той же формаціи (marnes vertes de Monmartre). Фиг. 23 изображаетъ одинъ изъ этихъ ключей подъ названіемъ „Moulin de la source“. Онъ даетъ около 300 литровъ въ секунду и лежитъ при Паргни въ кантонѣ Конде-ен-бріе.

Фиг. 23.

7. Иногда подобныя трещиноватыя породы окружены въ видѣ оболочки непроницаемыми породами, напр., глиной, лесомъ и т. под. Вслѣдствіе этого грун-

товыя воды въ горахъ запруживаются, и ключи появляются во всѣхъ впадинахъ или углубленіяхъ орографическаго рельефа, такъ какъ въ подобныхъ мѣстахъ верхняя оболочка бываетъ частью снесена поверхностными водами. Если подобныхъ углубленій не имѣется, то ключи выступаютъ рядами.

Примѣры подобныхъ ключей можно видѣть вездѣ, гдѣ глина, лесъ или подобныя имъ малопроницаемыя новѣйшей формаціи породы отложились передъ выходными концами болѣе древнихъ формацій проницаемыхъ породъ. Подобныя отложенія преимущественно можно встрѣтить въ долинѣ Рейна отъ Базеля до Некара, а также съ эльзасско-баварской стороны долины. Въ отд. II мы опишемъ происходящіе изъ такихъ оболочекъ ключи при Ларѣ.

8. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, преимущественно въ сильно трещиноватой мѣстности и въ наносномъ материкѣ, замѣчается цѣлый рядъ осѣданій (пропастей, воронокъ, обваловъ, щелей и проч.), въ которыя быстро проникаютъ поверхностныя воды, но изъ которыхъ иногда появляются ключи или въ которыхъ всегда находится вода. Въ большинствѣ случаевъ на продолженіи направленія подобныхъ рядовъ въ долинѣ, по легко понятнымъ причинамъ, находятся болѣе или менѣе обильные ключи.

Выше было замѣчено и пояснено чертежемъ (фиг. 17), что предѣлы повышенія уровня грунтовыхъ водъ обусловливаются конфигураціей мѣстности; если на данной мѣстности имѣются впадины или углубленія, то при подымающихся истокахъ въ этихъ углубленіяхъ появляются ключи, которые исчезаютъ, какъ только пріемникъ грунтовыхъ водъ (рѣка) получаетъ нѣкоторое пониженіе. Если въ качествѣ пріемника вмѣсто рѣки представимъ себѣ ключъ, то вышесказанное легко объяснитъ намъ приведенное правило 8.

Въ долинахъ, промытыхъ въ проницаемыхъ породахъ, гдѣ подмывъ не достигъ подстилающихъ непроницаемыхъ слоевъ, въ болѣе глубокихъ мѣстахъ появляются ключи, представляющіе собой, подобно рѣкамъ, пріемники грунтовыхъ водъ, притекающихъ къ нимъ съ одной или съ обѣихъ сторонъ. Если направленіе подъема стѣнокъ или боковъ долины отлого и частью прервано углубленіями, то при подъемѣ горизонта грунтовыхъ водъ, или даже при всякихъ обстоятельствахъ, въ подобныхъ углубленіяхъ будетъ находиться вода или она въ нихъ будетъ появляться временами; первое будетъ имѣть мѣсто тогда, когда горизонтъ грунтовыхъ водъ всегда выше подошвы углубленій, а второе тогда, когда горизонтъ грунтовыхъ водъ подымается до углубленій при увеличенныхъ количествахъ инфильтрацій.

Если стѣнки долины круты, и порода сильно пориста, то горизонтъ грунтовыхъ водъ лежитъ глубоко подъ поверхностью мѣстности. Если грунтовая вода двигается въ такихъ трещиноватыхъ породахъ или въ валунахъ съ неоднородной величиной зернъ, то въ мѣстѣ теченія главнаго грунтоваго потока скорость движенія будетъ довольно замѣтна. Быстро притекающія инфильтраціи вызываютъ сильное поднятіе горизонта грунтовыхъ водъ, за которымъ по прекращеніи притока слѣдуетъ такое-же быстрое пониженіе горизонта, при чемъ обнаруживаются механическія и химическія дѣйствія воды на русло или ложе, промывы щелей и промежутковъ, раздробленіе и обвалы сверху. Во всѣхъ мѣстахъ, подверженныхъ наиболѣе энергичному дѣйствію подпочвеннаго потока, съ теченіемъ времени появляются уширенныя снизу вверхъ щели, которыя подъ дѣйствіемъ поверхностныхъ водъ, даже при небольшихъ инфильтраціяхъ, расширятся и превратятся въ провалы. Наоборотъ, подъ подобными провалами всегда должна находитьтя наиболѣе обильная подземная водяная жила, такъ какъ это углубленіе сначала уже производится именно работой воды.

Поэтому если прослѣдить рядъ подобныхъ проваловъ по направленію грунтоваго потока, то въ концѣ концовъ придемъ къ открытымъ истокамъ—ключамъ, которые будутъ расположены на продолженіи направленія ряда проваловъ, если только по этому направленію не встрѣчаются уклоненія, вызванныя неправильной формой подпочвы, что́ вообще встрѣчается довольно рѣдко.

Что подобные размывы подпочвы, въ связи съ разсмотрѣнными въ гл. 9 химическими дѣйствіями воды, служатъ причинами образованія внутреннихъ полостей и проч., весьма ясно и не требуетъ ближайшихъ доказательствъ; точно также ясно, что поступающіе сверху землистые наносы, смѣшанные съ подземными примѣсями къ размывающей водѣ, образуютъ осѣданія, измѣненія теченія грунтоваго потока и связанные съ ними новые земляные обвалы и т. д.

Перемежающіеся ключи, о которыхъ мы упомянули выше въ гл. 7, образуютъ собой часть ключей, являющихся въ подобной области; вообще вездѣ, гдѣ наблюдается рядъ подобныхъ

Фиг. 24.

ключей, послѣдніе, наконецъ, приводятъ къ большому обильному ключу. Бываютъ перемежающіеся ключи, дѣйствующіе въ теченіи многихъ лѣтъ; подобные ключи расположены ближе

Фиг. 25.

другихъ къ постоянно сухимъ проваламъ и доказываютъ, что горизонтъ грунтовыхъ водъ весьма рѣдко подымается до уровня почвы, и что подпочвенный потокъ расположенъ очень глубоко. Нѣкоторые ключи даютъ воду только въ извѣстныя времена года; подобные ключи показываютъ, что въ соотвѣтственномъ мѣстѣ горизонтъ грунтовыхъ водъ чаще подымается до уровня почвы. Наконецъ, бываютъ такіе ключи, которые всегда даютъ воду, но высыхаютъ въ исключительныхъ только случаяхъ; въ подобныхъ ключахъ горизонтъ грунтовыхъ водъ большей частью расположенъ выше ихъ начала. Они исчезаютъ при пониженіи уровня главнаго ключа.

Прекраснымъ примѣромъ послѣдняго типа ключей могутъ служить подымающіеся ключи въ долинѣ Ванны (въ Шампани). На фиг. 24 изображенъ ключъ Серилли, служащій для водоснабженія Парижа. Онъ вытекаетъ изъ мѣловаго пласта, расположеннаго здѣсь надъ вполнѣ непроницаемымъ слоемъ глины, и образуетъ начало ручья Серилли. При обдѣлкѣ этого ключа уровень воды былъ пониженъ почти на 4 метра, чѣмъ увеличили количество

даваемой имъ воды; отводъ грунтовыхъ водъ, естественно, долженъ былъ соотвѣтственно уменьшить другіе истоки, сообщающіеся съ этимъ грунтовымъ потокомъ. Нормальной притокъ изъ этого ключа составляетъ около 150 литр. въ секунду.

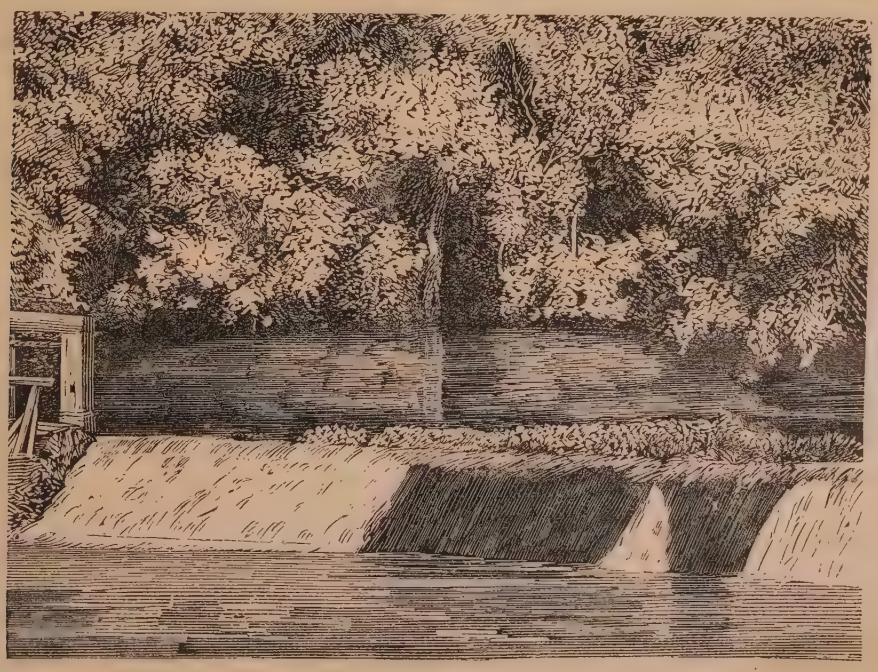
Болѣе величественный примѣръ подобнаго явленія представляетъ собой знаменитый относящійся сюда ключъ Сергю при Воклюзѣ (ф. 25). Онъ вытекаетъ изъ воронкообразнаго бассейна, находящагося въ связи съ глубокой полостью. Въ геогностическомъ отношеніи подпочвенный резервуаръ состоитъ изъ сильно трещиноватой породы неокомскаго яруса, подстилаемой непроницаемыми мергелями, замыкающими ее со всѣхъ сторонъ.

Инфильтраціонная область въ 1650 квадр. километр. усѣяна многочисленными провалами, называемыми тамъ „tindouls“ и „avens“ и дающими возможность прослѣдить за теченіемъ грунтовыхъ водъ. Они указываютъ на чрезвычайную обильность ключа, дающаго лѣтомъ и осенью 8—10 кубич. метр. въ секунду; наибольшая производительность его бываетъ въ теченіи весеннихъ мѣсяцевъ и составляетъ 30—60 куб. метр. въ секунду, а наименьшая его производительность составляетъ около 6 куб. метр. въ секунду.

Совершенно подобные-же ключи, но менѣе обильные, находятся у подошвы Альповъ въ Вюртембергѣ; въ этихъ областяхъ тоже находится масса земляныхъ обваловъ, обозначающихъ собой направленіе подпочвеннаго потока. Наименьшія и среднія количества воды, даваемой цѣлымъ рядомъ этихъ Альпійскихъ ключей, приведены въ слѣдующей таблицѣ:

Названіе ключа	среднія количества воды.	наименьшія количества воды.
Blautopf	1300 литр. въ сек.	350 литр. въ сек.
Zwiefalter-Aach	1060 „ „	320 „ „
Münsinger-Lauter	1000 „ „	470 „ „
Brenz-Ursprung	900 „ „	245 „ „
Lauterquelle (Buttenhausen)	375 „ „	130 „ „
Königsbronn (начало р. Pfeffer)	280 „ „	— „ „

Одинъ изъ наиболѣе красивыхъ ключей этого ряда представляетъ собой ключъ Блаутопфъ въ Блаубейренѣ, видъ котораго изображенъ на ф. 26; названіе свое Блаутопфъ — синій

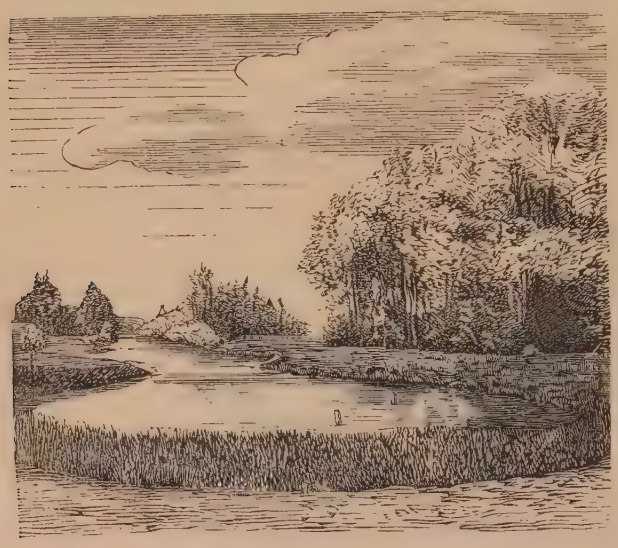


Фиг. 26.

горшокъ—онъ получилъ вслѣдствіе горшкообразнаго вида его бассейна и удивительно краснваго синяго цвѣта его воды, впечатлѣніе отъ которыхъ на туриста усиливается еще опущенными въ бассейнъ вѣтвями деревьевъ, растущихъ на крутомъ скалистомъ берегу съ нагорной его стороны, а также и дикой природой окрестностей ключа. Средній внутренній діаметръ замкнутаго плотиной бассейна составляетъ около 38 метр., а наибольшая его глубина 20 метр.

Синій цвѣтъ воды, повидимому, происходитъ отъ содержащагося въ ней мѣднаго купороса такъ какъ подвѣшенные въ воду желѣзные предметы покрываются мѣдью.

Еще примѣръ подобныхъ мощныхъ подземныхъ водяныхъ потоковъ даетъ орлеанская долина на лѣвомъ берегу Луары. Начиная съ деревни Бутейль по направленію долины, на плоской равнинѣ встрѣчается цѣлый рядъ углубленій и мелкихъ ключей, которые ведутъ къ большому ключу ручья Луаретъ, одному изъ наиболѣе мощныхъ существующихъ ключей. Видъ этого ключа изображенъ на ф. 27. Своимъ существованіемъ ключъ обязанъ образовавшимся въ отложеніяхъ нижнихъ міоценовыхъ формацій подземнымъ полостямъ, поглощающимъ въ себя при Бутейлѣ главнымъ образамъ воду изъ Луары, а въ Орлеанской долинѣ — громадное количество грунтовой воды. Ниже Орлеана Луаретъ опять изливается въ Луару, и допускаетъ пароходное сообщеніе вплоть до своего источника.



Фиг. 27.

Наконецъ, слѣдуетъ здѣсь упомянуть еще объ одномъ относящемся сюда явленіи, а именно о перемежающихся и постоянныхъ ключахъ на берегахъ прежнихъ большихъ водоемовъ. Въ наносахъ рѣчныхъ долинъ часто встрѣчается рядъ послѣдовательныхъ террасъ, обозначающихъ прежнія высокія стоянія рѣчной воды; прежнія рѣчныя русла большей частью легко узнаются по разрушеніямъ или вымываніямъ этихъ террасъ. Во время образованія этихъ руслъ прежнія рѣчныя русла воспринимали въ себя грунтовыя воды изъ наносовъ. Послѣ засыпки этихъ прежнихъ рѣчныхъ руслъ грунтовыя воды, стремящіяся продолжать свое теченіе по прежнимъ путямъ, скопляются и могутъ въ отдѣльныхъ мѣстахъ труднѣе или легче, періодически или постоянно, въ зависимости отъ свойства намытыхъ тогда въ рѣчное русло матеріаловъ, выступать на дневную поверхность и образовать ключи. Такимъ образомъ и въ этомъ случаѣ пользованіе указаннымъ признакомъ при отысканіи существующихъ ключей даетъ удовлетворительные результаты.

О значеніи всѣхъ этихъ обстоятельствъ при добываніи воды изъ подпочвы будетъ сказано ниже.

9. Очень часто горные хребты простираются вдоль рѣчныхъ долинъ въ видѣ длинныхъ болѣе или менѣе прямолинейныхъ кряжей, вообще сопровождаемыхъ многими болѣе или менѣе параллельными имъ трещинами (отъ взбрасыванія назадъ). Прослѣдивъ въ подобныхъ случаяхъ эти щели, мы попадаемъ на цѣлый рядъ ключей, если выходные концы болѣе высокихъ горъ дренируются по направленію къ этимъ щелямъ или трещинамъ.

Правильное опредѣленіе щелей или трещинъ отъ взбрасыванія породъ представляетъ собой одну изъ наиболѣе трудныхъ задачъ для геолога; во всякомъ случаѣ слѣдуетъ рѣшительно остерегаться того часто примѣняемаго для этой цѣли способа, по которому на картѣ помощью линейки соединяютъ два или три ключа, считая ихъ принадлежащими одной и той же щели, и полученную линію принимаютъ за направленіе щели. На подобной линіи въ большинствѣ случаевъ не находятъ никакихъ ключей. Бываютъ мѣстности, въ которыхъ существованіе подобныхъ щелей узнается весьма легко, между тѣмъ какъ нахожденіе самихъ щелей чрезвычайно трудно; такъ напр. въ долинѣ Рейна сравненіе формацій, глубже лежащихъ на склонахъ, съ лежащими на водораздѣлахъ породами показываетъ, что черезъ эти породы должны пройти взброшенныя породы, но не смотря на многія геогностическія изысканія, точное направленіе щелей не опредѣлено и до настоящаго времени. Громадное число щелей, изъ которыхъ вытекаютъ ключи, приведено Лершомъ [1]).

[1]) Lersch. Hydro-Physik. 1870.

Въ подобныхъ щеляхъ образуются большей частью весьма обильные холодные и теплые ключи. Къ холоднымъ ключамъ этой категоріи относится, напр., показанный на фиг. 28 ключъ Зассенажъ, образованный взбрасываніемъ мѣловой породы, при которомъ водоносный мѣловой елой расположился надъ непроницаемымъ мергелемъ нижней неокомской формаціи, вслѣдствіе чего въ этомъ мѣстѣ задерживаются воды. Мягкіе мергели нижней неокомской формаціи постепенно растворялись въ водѣ и сдѣлали щели непроходимыми, такъ что теперь воды выходятъ прямо изъ мѣловой пещеры.

Фиг. 28. Ключъ Сосенажъ.

10. Если ни одинъ изъ описанныхъ здѣсь способовъ не можетъ быть примѣненъ для скораго рѣшенія задачи по отысканію находящихся въ данной мѣстности и удовлетворяющихъ данной цѣли ключей, то не остается ничего другого какъ прослѣдить всѣ имѣющіеся въ данной мѣстности водяные потоки до ихъ началъ. При нѣкоторой внимательности этотъ способъ даетъ вполнѣ удовлетворительные результаты [1]).

Наибольшей осторожности требуетъ опредѣленіе количества воды, даваемой ключемъ, если послѣдній назначенъ для цѣлей водоснабженія. Количество воды слѣдуетъ опредѣлять непосредственнымъ измѣреніемъ, какъ это приведено будетъ ниже (см. отд. IV гл. 11); при этомъ прежде всего необходимо замѣтить, что уровень воды въ ключѣ можетъ повышаться или понижаться. Если подымаютъ уровень воды, то можетъ произойти ошибка оттого, что являются такіе истоки, изъ которыхъ ключъ обыкновенно не даетъ воды, такъ что это количество воды впослѣдствіи исчезаетъ. Если же понижаютъ горизонтъ воды, то этимъ же измѣняютъ положеніе горизонта грунтовыхъ водъ въ области питанія ключа, и временное увеличеніе притока имѣетъ своимъ послѣдствіемъ относительно меньшую производительность ключа въ сухое время (гл. 7). Такъ какъ наименьшее количество даваемой ключемъ воды весьма важно для рѣшенія вопроса объ удовлетворительности его для данной цѣли, то измѣренія слѣдуетъ продолжать столько времени, чтобы они захватили по меньшей мѣрѣ хотя бы одинъ періодъ засухи. Производительность ключа даже послѣ долгихъ періодовъ засухи должна быть больше назначенной потребности, такъ какъ обдѣлка ключей почти безъ исключенія неблагопріятно вліяетъ на ихъ производительность, какъ мы это увидимъ ниже. Полная увѣренность въ постоянной достаточности ключа никогда не достигается (гл. 12).

Разсматривая въ совокупности результаты приведенныхъ нами соображеній мы приходимъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

Чѣмъ больше потребность воды, тѣмъ меньше слѣдуетъ отыскивать соот-

---

[1]) Очень жаль, что при топографическихъ и геологическихъ съемкахъ на карты не наносятся всѣ ключи, даже и имѣющіе мало значенія. Дополнительное ихъ нахожденіе требуетъ со стороны лицъ, контролирующихъ съемки, много времени и труда.

вѣтствующіе этой потребности ключи на возвышенныхъ мѣстахъ, такъ какъ тамъ не только малы инфильтраціонныя области, но и случайныя подземныя потери воды тѣмъ вѣроятнѣе, чѣмъ выше и круче гора, между тѣмъ какъ подпочва подошвъ долинъ можетъ считаться постоянно насыщенной водой или водонепроницаемой, такъ что въ ней всѣ случайныя потери исключены. Слѣдуетъ еще прибавить, что опасность потерять ключъ вслѣдствіе откопки другихъ ключей гораздо вѣроятнѣе на возвышенности, нежели на низинѣ, а подобныя поврежденія, по крайней мѣрѣ вообще, могутъ, быть произведены неумышленно, и при этомъ даже нѣтъ основаній взыскивать съ кого-либо вознагражденія за понесенные убытки.

Что-же касается другихъ условій, то еще разъ считаемъ необходимымъ предупредить отъ слишкомъ большого довѣрія къ „образованію ключей въ различныхъ геологическихъ формаціяхъ“. Ключи безконечно разнообразны. Каждый отдѣльный случай требуетъ спеціальнаго изученія. Ключи настолько индивидуально различны, что почти такъ же рѣдко встрѣтить два ключа совершенно одинаковаго характера, какъ встрѣтить двухъ людей съ совершенно одинаковой наружностью кромѣ того каждая мѣстность имѣетъ свои особые типы ключей.

Наибольшая осторожность требуется при опредѣленіи количества даваемой ключемъ воды.

Въ заключеніе этой главы остается присовокупить, что появленіе ключей на высокихъ горахъ, какъ показали наблюденія, имѣетъ нѣкоторый предѣлъ, который бываетъ различенъ въ зависимости отъ породы. По наблюденіямъ Шлагинтвейта подъемъ Альповъ, соотвѣтствующій пониженію температуры ключей на 1° С, отъ подножія Альповъ до изогеотермической поверхности въ +1°С, въ круглыхъ числахъ можетъ быть принятъ около 230 метровъ. Въ областяхъ снѣговъ и льдовъ, обыкновенно на высотѣ въ круглыхъ числахъ 3000 метр. надъ уровнемъ моря, ключи прекращаются. Въ другихъ мѣстностяхъ со средней годовой температурой ниже точки замерзанія, по многочисленнымъ наблюденіямъ, ключи продолжаютъ течь также и въ продолженіи всей зимы.

Подробное изученіе и описаніе отдѣльныхъ ключей въ различныхъ странахъ и мѣстностяхъ составляетъ предметъ обширной и спеціальной литературы а потому не можетъ быть здѣсь приведено.

11. Мощность и свойства скрыто текущихъ водъ.

Чтобы составить себѣ ясное понятіе о мощности скрыто текущихъ водъ какой нибудь области, прежде всего необходимо произвести съемку всѣхъ выходящихъ на дневную поверхность водоемовъ. По ней получается понятіе о томъ, какая часть атмосферныхъ осадковъ и въ какомъ видѣ (въ видѣ-ли ключевой или дождевой воды) отводится открытыми потоками. Затѣмъ метеорологическія наблюденія въ связи съ существующими на поверхности почвы растительными культурами даютъ намъ исходную точку для опредѣленія количества воды, попадающей на поверхность земли, и количества испаряемой воды. Для опредѣленія затѣмъ поступленія и теченія инфильтрацій служатъ геогностическія изслѣдованія мѣстности. Только то количество воды, которое не стекаетъ по поверхности и не испаряется, можетъ быть извлечено изъ почвы.

Для этихъ предварительныхъ работъ во всякомъ случаѣ необходимо ознакомиться съ тѣми изслѣдованіями, которые были произведены другими изслѣдовате-

лями въ указанныхъ трехъ направленіяхъ. Такимъ образомъ раньше всего слѣдуетъ изучить имѣющуюся литературу или хранящіяся большей частью въ общинныхъ (городскихъ) архивахъ различныя мнѣнія, изысканія, предложенія и т. д., затѣмъ имѣющіеся въ присутственныхъ мѣстахъ гидрографическіе чертежи, бюллетени метеорологическихъ станцій, геогностическія съемки и проч. При этомъ будетъ весьма неправильно заблаговременно устранить нѣкоторыя касающіяся этого предмета работы изъ за того, что онѣ произведены некомпетентнымъ лицомъ, такъ какъ въ работѣ диллетанта часто содержатся весьма цѣнныя свѣдѣнія, равно какъ и въ работахъ такъ называемыхъ „авторитетовъ“ часто содержатся совершенно безполезныя и ненужныя указанія. Послѣ этихъ предварительныхъ работъ уже можно точнѣе опредѣлить, что именно еще необходимо сдѣлать для полученія правильнаго взгляда на этотъ предметъ.

Затѣмъ необходимо составить общую карту соотвѣтственной области, величина или протяженіе которой существенно зависитъ отъ желаемаго количества воды. Въ культурныхъ странахъ обыкновенно подобныя надежныя карты получаются при топографическихъ съемкахъ; тамъ же, гдѣ невозможно имѣть въ распоряженіи подобныя карты, изготовленіе точныхъ картъ иногда потребуетъ такихъ расходовъ, что необходимо удовольствоваться краткими чертежами. Даже на лучшихъ картахъ рѣдко нанесены всѣ существующіе ключи и водяные потоки; они должны быть нанесены дополнительно. Наибольшія затрудненія встрѣчаются при измѣреніи производительности ключей и потоковъ; но подобное измѣреніе неизбѣжно, а потому необходимо обратить на него весьма серьезное вниманіе. Приблизительно наблюдаемыя наступившія въ теченіи болѣе или менѣе значительнаго промежутка времени измѣненія большихъ водяныхъ потоковъ имѣютъ выдающееся значеніе; они могутъ быть опредѣлены частью путемъ сравненія старыхъ картъ съ новыми и частью по обозначеннымъ на новыхъ картахъ слѣдамъ прежнихъ потоковъ. Часто, напр. въ наносахъ рѣчныхъ областей, водоносные слои вліяютъ на качества воды, т. е. качества воды въ близко граничащихъ другъ съ другомъ областяхъ иногда совершенно различны, въ зависимости отъ начала и протяженія напластованныхъ валунныхъ массъ. Для выясненія этого вопроса гидрографическія химическія и геогностическія изслѣдованія должны идти рука объ руку. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ ключи, прежде весьма обильные, исчезли, а въ нѣкоторыхъ появились новые ключи; подобные факты часто подтверждаютъ наши заключенія о важныхъ явленіяхъ внутри материка или объ измѣненіяхъ культуры на поверхности земли; здѣсь сравненіе старыхъ картъ съ новыми иногда даетъ намъ ключъ для изученія причинъ этихъ явленій. Наконецъ не слѣдуетъ упустить изъ виду, что существующіе дренажи, расходъ воды для общественныхъ и промышленныхъ цѣлей, устройство плотинъ и системы орошеній имѣютъ весьма замѣтное вліяніе на теченіе и количество, а иногда также и на качества грунтовой воды.

Метеорологическія наблюденія и измѣренія за прежнія времена вообще попадаются весьма рѣдко и кромѣ того, всегда сопровождаются различными недостатками. Поэтому здѣсь принимаютъ въ разсчетъ только новѣйшія данныя, на которыя можно основываться еще тѣмъ болѣе, что климатъ данной мѣстности, за немногими исключеніями, въ теченіи большихъ промежутковъ времени не подвергается никакимъ измѣненіямъ. При этомъ необходимо стремиться къ полученію данныхъ отъ наблюденій и измѣреній, относящихся спеціально къ данной мѣстности, такъ какъ преимущественно частота и энергія дождей

бываютъ иногда весьма различны въ сосѣднихъ между собой областяхъ (ср. гл. 3).

Что касается геогностическихъ изслѣдованій, то они, какъ замѣчено было выше (гл. 10), главнымъ образомъ должны распространяться на геотектонику горной области. Хотя въ извѣстныхъ предѣлахъ детали подобныхъ изслѣдованій, какъ напр., вопросъ о томъ, должна-ли быть причислена данная часть горной массы къ краснымъ песчаникамъ или къ нижнимъ пестрымъ песчаникамъ, долженъ ли быть причисленъ данный мергель къ бѣлой юрѣ или къ мѣлу, и т. д., не имѣютъ особеннаго значенія, но свѣдѣнія о водоемкости составныхъ частей горной массы, о раздѣленіи горной массы на отдѣльные пласты или дислокаціонные пояса, о раздробленіи отдѣльныхъ такихъ глыбъ, о вѣроятной проницаемости или непроницаемости пластовъ въ связи съ ихъ положеніемъ и поверхностями соприкасанія, о приблизительномъ заполненіи щелей и о подвижномъ въ нихъ вымываемомъ водой элементѣ и т. под. несомнѣнно имѣютъ весьма важное значеніе. Само собой разумѣется, что для этихъ цѣлей необходимы не одни только поверхностныя съемки, но и геогностическіе профиля. Эти профили ни въ какомъ случаѣ не должны наноситься въ уменьшенномъ видѣ, но постоянно должны чертиться въ одинаковомъ масштабѣ длинъ и высотъ; конечно, точная картина въ большинствѣ случаевъ можетъ быть достигнута только непосредственнымъ изслѣдованіемъ подпочвы помощью пробныхъ буреній, которыя впрочемъ только тогда имѣютъ значеніе, когда ихъ результаты классифицированы и вообще обработаны опытнымъ геологомъ. Инженеръ во всякомъ случаѣ долженъ обладать самосознаніемъ настолько, чтобы отказаться отъ производства безошибочныхъ геогностическихъ изслѣдованій, такъ какъ необходимая для подобной работы опытность и научная подготовка пріобрѣтается даже спеціалистами большей частью только для отдѣльныхъ спеціальныхъ областей.

Эти предварительныя работы при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ приводятъ насъ къ большей или меньшей вѣроятности присутствія грунтовыхъ водъ въ данной области; вопросъ о достаточности количества этой воды рѣшается только путемъ испытанія, если только дѣло идетъ о болѣе или менѣе значительной потребности.

Опыты открыванія воды большей частью довольно дороги и отвѣтственны. Не каждый опытъ удается такъ, чтобы нельзя было видѣть въ немъ извѣстныя упущенія; въ нѣкоторыхъ случаяхъ, наоборотъ бываютъ удачны опыты открыванія воды даже неправильно обоснованные т. е. противорѣчащіе предварительнымъ геогностическимъ опредѣленіямъ и проч., и предпринятые такъ сказать на авось. Бываютъ области въ которыхъ проводъ воды на дневную поверхность производится легче и проще, чѣмъ въ другихъ, и во многихъ случаяхъ существуютъ наружные признаки, по которымъ съ большей или меньшей несомнѣнностью отдѣльныя мѣста данной мѣстности признаются наиболѣе соотвѣтствующими для производства шурфованія.

Объ этомъ предметѣ въ общемъ можно сказать слѣдующее:

Если желательно найти значительныя количества воды, то скорѣе можно достигнуть цѣли, отыскивая воду въ низинахъ, въ наносной почвѣ, а не въ горныхъ областяхъ. Все сказанное объ этомъ въ отношеніи ключей (см. гл. 10) въ той-же мѣрѣ справедливо и для скрыто текущихъ потоковъ. Вблизи большихъ рѣкъ, текущихъ въ проницаемыхъ наносахъ, количест-

во существующей грунтовой воды достигаетъ своего максимума (см. гл. 7), и весьма выгодно, помимо грунтовой воды, текущей отъ материка къ рѣкѣ, пользоваться и естественно профильтрованной рѣчной водой (что въ большей части случаевъ и дѣлается).

Этотъ способъ добыванія воды, какъ мы это увидимъ ниже (см. Отд. II), въ послѣднее время все чаще и чаще примѣняется для крупныхъ водоснабженій. Онъ вполнѣ раціоналенъ и надеженъ, но при этомъ не слѣдуетъ упустить изъ виду, что искусственно отвлеченная отъ рѣки вода (пониженіемъ уровня воды въ мѣстѣ сбора ниже уровня рѣки) въ томъ-же количествѣ должна пополняться источниками или началомъ рѣки.

Вопросъ о количествѣ грунтовой воды, притекающей изъ материка къ рѣкѣ рѣшается простымъ непосредственнымъ измѣреніемъ, такъ какъ разница между количествами воды, измѣряемой выше и ниже опредѣленнаго протяженія рѣки, равно количеству притекающей грунтовой воды. Подобныя измѣренія, преимущественно для большихъ рѣкъ, не даютъ точныхъ результатовъ, такъ какъ неизбѣжныя при такихъ измѣреніяхъ погрѣшности значительно превышаютъ соотвѣтственное количество грунтовыхъ водъ. Наоборотъ, эти измѣренія весьма цѣнны для небольшихъ рѣкъ и ручьевъ, въ которыхъ количество воды можетъ быть опредѣлено гораздо точнѣе, нежели въ большихъ рѣкахъ.

Когда такимъ образомъ опредѣлено количество грунтовыхъ водъ, притекающихъ на извѣстномъ протяженіи рѣки, то есть вѣроятность добыть большую часть этой воды путемъ искусственныхъ водосборовъ, и нѣтъ никакого риска въ подобныхъ мѣстностяхъ предпринять пробныя работы по добыванію воды. Впрочемъ бывали примѣры неудачъ даже и въ подобныхъ случаяхъ.

Способъ производства этихъ работъ при различныхъ условіяхъ будетъ разсмотрѣнъ нами ниже (см. отд. II). Здѣсь замѣтимъ только, что раньше всего необходимо составить планъ отмѣтокъ или высотъ горизонта грунтовыхъ водъ для полученія яснаго представленія о движеніи послѣднихъ. По послѣдствіямъ нѣкотораго нарушенія состоянія равновѣсія дѣлаютъ заключенія о послѣдствіяхъ дальнѣйшихъ подобныхъ нарушеній и этимъ находятъ путь къ правильному методу добыванія воды.

Нѣсколько затруднительнѣе будетъ отыскиваніе грунтовыхъ водъ въ наносной почвѣ на болѣе значительномъ разстояніи отъ открытыхъ водяныхъ потоковъ. Обширныхъ съемокъ горизонта грунтовыхъ водъ въ большинствѣ случаевъ не имѣется, а стоимость производства ихъ всегда слишкомъ значительна. Въ этихъ случаяхъ по ближайшимъ сосѣднимъ насоснымъ колодцамъ и ихъ производительности можно составить себѣ приблизительное понятіе о направленіи и мощности грунтоваго потока, но не о тѣхъ мѣстахъ, по которымъ протекаютъ наибольшія количества грунтовыхъ водъ, т. е. въ которыхъ онѣ легче всего могутъ быть добыты; между тѣмъ рѣшеніе послѣдняго вопроса именно и требуется. Для этого могутъ служить слѣдующія исходныя точки.

Мало проницаемая почва, какъ неоднократно было нами указано выше (гл. 5 и 10), характеризуется тѣмъ, что мѣстность изрѣзана многими открытыми водяными потоками, высыхающими послѣ продолжительной засухи и текущими по болѣе или менѣе глубокимъ русламъ; въ этихъ мѣстностяхъ шурфованіемъ можно находить болѣе или менѣе значительныя количества воды только въ исключительныхъ случаяхъ; вообще же здѣсь совершенно нельзя найти обильныхъ грунтовыхъ водъ. Если, наоборотъ, область остается довольно сухою, и на ней встрѣчается немного открытыхъ водяныхъ потоковъ, то вѣроятность найти шурфованіемъ болѣе или менѣе значительныя количества воды довольно велика. Глубина, на которой возможно находить воду, зависитъ отъ свойствъ горныхъ породъ. Если подъ почвеннымъ покровомъ находится сильно трещиноватая порода (напр. юрская известь, мѣлъ и проч.), то инфильтраціи большей частью скопляются на значительныхъ глубинахъ подъ землей; въ наносахъ и дилувіаль-

ныхъ отложеніяхъ, наоборотъ, уровень воды рѣдко расположенъ на значительной глубинѣ подъ почвой.

У древнихъ народовъ существовалъ способъ узнавать глубину залеганія грунтовыхъ водъ по туману, появляющемуся надъ почвой въ сухое время, преимущественно по утрамъ. Витрувіусъ (за 50 л. до Р. Х.) съ успѣхомъ примѣнялъ для этой цѣли методъ, состоявшій въ томъ, что мѣдный котелъ, окрашенный масломъ внутри, вкапывался въ землю въ опрокинутомъ состояніи; по появлявшимся внутри котла по прошествіи нѣкотораго времени водянымъ каплямъ, происходящимъ отъ испаренія съ горизонта грунтовыхъ водъ, заключали о глубинѣ залеганія подпочвенныхъ водъ. До послѣдняго времени продолжали эксперименты, подобные предложенному Витрувіусомъ [1]). Практикуемые въ настоящее время методы пробнаго буренія, забиванія абессинскихъ колодцевъ и проч., а въ населенныхъ мѣстностяхъ наблюденія надъ насосными колодцами представляютъ собой болѣе цѣлесообразные и болѣе солидные способы.

Какъ и въ настоящее время, въ прежнія времена рѣки во всѣхъ проницаемыхъ формаціяхъ служили сборными каналами для стекающихъ къ нимъ съ почвы грунтовыхъ водъ (см. отд. IV, гл. 20). Эта функція рѣкъ замѣтно не сокращается и тогда, когда русло даже закрывается наносами высокихъ водъ, горными обвалами, обсыпками глетчеровъ и т. под., такъ какъ подобная засыпка по самой своей природѣ рѣдко состоитъ изъ вполнѣ непроницаемыхъ матеріаловъ, и вытекающая потомъ изъ этой засыпки вода направляется во внутрь обломочныхъ породъ. Поэтому подъ обломочными породами въ прежнихъ рѣчныхъ руслахъ большей частью существуетъ скопленіе грунтовыхъ водъ.

Подобныя покинутыя старыя рѣчныя русла въ широкихъ наносныхъ областяхъ легко узнаются по различнымъ террасамъ, образовавшимся въ теченіе долгихъ періодовъ времени высокими водами (см. гл. 10). Сильно извивавшіяся рѣки въ мѣстахъ наибольшихъ закругленій и поворотовъ разрушали берега и образовали крутую высокую насыпь—плоскую возвышенность со стороны вышележащей террасы; эти плоскогорія оставались и послѣ того, какъ рѣка промыла себѣ болѣе глубокое русло, и непосредственно подъ ними находится засыпанное прежнее русло рѣки или ея рукава. Поэтому на краяхъ береговъ старыхъ рѣкъ преимущественно находятъ наиболѣе мощные грунтовые потоки, и если послѣдніе не выступаютъ уже гдѣ либо въ видѣ ключей, какъ замѣчено было выше (гл. 10), то съ полной надеждой на успѣхъ они могутъ быть выведены на дневную поверхность путемъ шурфованія.

Прекрасными примѣрами тому могутъ служить описываемые ниже (см. отд. II) водосборы городовъ Фрейбурга и Карлсруэ.

---

[1]) М. Вэлферъ въ своемъ сочиненіи: Der auf vieljarhige Erfahrung gegrundete Kunst—und Brunnenmeister in allen seinen praktischen Vorrichtungen. 1840, даетъ слѣдующій „надежный способъ“ узнаванія глубины горизонта грунтовыхъ водъ при копаніи колодцевъ: въ новый глиняный хорошо глазированный горшокъ кладутъ 5 лотовъ негашеной извести въ порошкѣ, 5 лот. сѣрнаго цвѣта, 5 лот. яри-мѣдянки въ порошкѣ и 5 лот. бѣлаго ладону въ порошкѣ; все это покрываютъ 5 лотами шерсти, теряемой овцами на пастбищѣ, и горшокъ закрываютъ плотно пригнанной къ нему глиняной крышкой. Этотъ горшокъ при сухой погодѣ закапываютъ въ землю такъ, чтобы крышка была покрыта землей на 1 футъ. По истеченіи 24 часовъ еще разъ взвѣшиваютъ все содержимое горшка; если вѣсъ уменьшился или остался одинаковымъ, то въ этомъ мѣстѣ воды нѣтъ. Если вѣсъ увеличился на 2 лота, то ключевая вода находится на глубинѣ 75 фут.; если на 4 лота, то вода—на глубинѣ 50 фут.; если на 6 лотъ, то на глубинѣ 37½ фут.; если на 8 лот., то на глубинѣ 25 фут.; если на 10 лот., то на глубины 15 фут. Отсюда видно, къ какимъ смѣлымъ заключеніямъ повело развитіе метода Витрувіуса.

Гораздо труднѣе узнать старое русло потока, если заполненіе его произведено не высокими водами, а оползнями горъ, ледниковыми отложеніями и проч. Въ этомъ случаѣ уже необходимы геогностическія изслѣдованія, безъ которыхъ рѣдко удается опредѣлить положеніе стараго подземнаго сборнаго канала.

Такимъ образомъ края старыхъ высокихъ рѣчныхъ береговъ, а также существующія старыя долины могутъ считаться наиболѣе благопріятными пунктами для производства шурфованія или предварительныхъ изысканій грунтовой воды.

Съ особенной тщательностью необходимо также прослѣдить потери воды въ открытыхъ водяныхъ потокахъ. Исчезнувшая вода должна опять появиться въ какомъ-нибудь ниже лежащемъ мѣстѣ, причемъ это появленіе воды не всегда происходитъ въ видѣ видимыхъ ключей, а чаще въ видѣ грунтовыхъ или подпочвенныхъ истоковъ, направляющихся въ тотъ же открытый водяной потокъ или въ сосѣдніе открытые ручьи. Въ этихъ послѣднихъ количество протекающей черезъ нихъ воды, начиная съ извѣстныхъ мѣстъ, увеличивается, и прослѣдить за теченіемъ грунтоваго потока между мѣстомъ выхода и обратнаго входа будетъ тѣмъ легче, чѣмъ больше имѣется наружныхъ признаковъ, поименованныхъ выше въ гл. 10 под. п. 8.

Примѣръ этому заимствуемъ отъ составленнаго Боллингеромъ проекта водоснабженія города Милана [1]). Выходящій изъ Бергамасскихъ Альповъ въ верхней Италіи ручей Брембо соединяется съ выходящей изъ озера Комо рѣкой Аддой нѣсколько выше Вапріо. Ниже Понте С. Піетро до Филаго въ наносѣ, окруженномъ смѣшаннымъ изъ различныхъ обломочныхъ породъ конгломератомъ (нагельфлюе) рѣка Брембо проложила себѣ дикое русло, которое она заполняетъ на обширномъ протяженіи при ежегодныхъ половодіяхъ, и въ которомъ она часто мѣняетъ свое теченіе; на этомъ протяженіи находятся песчаныя и хрящевыя отложенія, и здѣсь — на высотѣ около 180—200 метр. надъ уровнемъ моря — во всякое время исчезаетъ весьма значительная часть воды рѣки Брембо. Эта инфильтрація движется по дилювіальнымъ слоямъ подъ плоскогорьемъ, отдѣляющимъ Адду отъ Брембо, по направленію къ рѣкѣ Аддѣ, протекающей между Треццо и Свизіо-Боттонуло на высотѣ 140—150 метр. надъ уровнемъ моря, и легко узнается по весьма замѣтнымъ въ большемъ количествѣ ключамъ при Боттануло, С. Гервазіо и Капріате, а также по значительной прибыли воды въ р. Аддѣ, но преимущественно по пониженію температуры послѣдней рѣки, выходящей изъ озера Комо лѣтомъ при 22° С. и оказывающейся при Капритѣ охлажденной до 17° С.

Подобный-же непринадлежащій къ наносной почвѣ грунтовый потокъ, изъ котораго выходятъ весьма мощные ключи Липы и Падера, описанъ Лершемъ въ его гидро-физикѣ.

Между пунктомъ, у котораго открытый потокъ теряетъ воду, и пунктомъ, у котораго этотъ или сосѣдній потокъ опять получаетъ воду, всегда есть надежда на удачное шурфованіе для отысканія значительныхъ количествъ воды.

Нерѣдко подъ непроницаемыми слоями находятъ грунтовые потоки, существующіе на весьма значительныхъ протяженіяхъ и получающихъ питаніе отъ инфильтрацій на трудно доступныхъ изслѣдованію мѣстностяхъ. Поэтому, преимущественно въ обширныхъ ледниковыхъ отложеніяхъ, можно разсчитывать на восходящую воду, если довольно мощные глиняные пласты лежатъ подъ сравнительно тонкимъ почвеннымъ покровомъ. Пробуреніе такихъ лежащихъ близко отъ поверхности земли глиняныхъ пластовъ тѣмъ полезнѣе, чѣмъ они обширнѣе, и чѣмъ круче ограничивающіе долину горные склоны; подобныя долины большей частью даютъ весьма значительныя количества воды.

[1]) Bollinger, H. L'acqua potalile per Milano. 1886.

Внѣшнимъ признакомъ существованія водоносной подпочвы могутъ служить громадныя площадки заливныхъ и не дренированныхъ искусственно луговъ. Въ этихъ случаяхъ отводъ просачивающейся затопляющей воды производится однимъ только грунтовымъ потокомъ, существованіе котораго несомнѣнно. Тутъ является только вопросъ о томъ, состоитъ-ли водоносный пластъ изъ совершенно однородныхъ валуновъ, или же въ подпочвѣ имѣются значительные естественные сборные каналы, образуемые старыми рѣчными руслами или болѣе крупными залеганіями при неравномѣрныхъ свойствахъ валуновъ. Въ первомъ случаѣ поверхность по наружному виду совершенно однородна, между тѣмъ какъ во второмъ случаѣ встрѣчаются многія различныя по своему значенію мѣста, на которыхъ почвенный покровъ можетъ болѣе или менѣе долгое время сохранять на себѣ воду, или же на которыхъ вода быстро просачивается въ почву.

Иногда при обходѣ наносной мѣстности замѣчаютъ выступающіе изъ нея поверхности скалъ; обыкновенно въ этихъ случаяхъ легко узнается, относится-ли выступающая такимъ образомъ порода къ водопроницаемымъ или къ непроницаемымъ. Въ первомъ случаѣ, и если притомъ въ разсматриваемой мѣстности не выступаютъ ключи, получается несомнѣнное доказательство, что находящійся надъ такимъ выступомъ проницаемый почвенный покровъ бываетъ незначительной мощности, и шурфованіе въ немъ **дастъ мало полезныхъ результатовъ или даже будетъ совершенно безуспѣшно.**

Подъ названіемъ упоминаемыхъ выше наносныхъ мѣстностей слѣдуетъ разумѣть скопленныя въ долинныхъ низинахъ громадныя массы валуновъ и галекъ. Будучи неоднороднаго сложенія и состоя изъ крупныхъ и мелкихъ песковъ, хряща, глины, эрратическихъ камней и проч., онѣ представляютъ собой наиболѣе надежные **источники для добыванія значительныхъ количествъ воды.**

Получаемая отсюда вода большей частью бываетъ весьма чиста, если только подпочва не загрязнена человѣческими и животными отбросами, фабриками и т. д. Въ зависимости отъ свойствъ матеріала, изъ котораго главнымъ образомъ состоитъ наносъ, находятся химическія свойства получаемой воды (ср. гл. 9). Почти химически чистой оказывается вода въ наносахъ изъ кристаллическихъ ланцевъ, гранита, пестраго песчаника и т. подобныхъ породъ; въ наносахъ-же, состоящихъ преимущественно изъ известняковыхъ валуновъ, вода получается слишкомъ жесткой и почти негодной къ употребленію. И здѣсь и тамъ грунтовыя воды бываютъ съ содержаніемъ желѣза. **Весьма важно имѣть въ виду, что часто въ одномъ и томъ же дилювіальномъ отложеніи годная къ употребленію вода и негодная находятся рядомъ или одна надъ другой, и по одному качественно неудачному опыту не слѣдуетъ заключать о совершенной несоотвѣтственности для этой цѣли всей разсматриваемой области.**

Обломки въ трудно проницаемой горной породѣ, или **почвенный покровъ** въ общемъ находится въ подобныхъ-же условіяхъ, но бываетъ значительно меньшей мощности. Подобнымъ покровомъ покрыта большая часть всего материка, и въ этихъ областяхъ, само собой разумѣется, рѣдко можно встрѣтить обильные ключи или значительныя количества воды, добываемой шурфованіемъ на большихъ протяженіяхъ. Наоборотъ небольшія ключи встрѣчаются очень часто, и весьма не трудно шурфованіемъ въ различныхъ мѣстахъ **добывать небольшія количества грунтовыхъ водъ.** Если замѣ-

чаютъ, что въ этихъ случаяхъ расположенный подъ почвеннымъ покровомъ непроницаемый слой въ извѣстной степени имѣетъ видъ орографическаго рельефа мѣстности, то весьма легко выяснить себѣ, въ какихъ именно мѣстахъ должны быть произведены шурфованія: грунтовыя воды будутъ стекаться такимъ же образомъ, какъ и поверхностныя воды.

Искусство нахожденія воды въ подобныхъ областяхъ въ весьма высокой степени разработано аббатомъ Парамеллемъ, способъ котораго изложенъ въ его монографіи, о которой мы упомянули выше. Парамелль путемъ упражненій и опыта выработалъ въ себѣ способность заключать о подпочвѣ по виду поверхности. Способъ оріентированія въ этомъ отношеніи приведенъ нами выше (см. гл. 5). Какъ второе вспомогательное средство при оріентированіи онъ примѣняетъ разсмотрѣніе растительности. Если по обоимъ этимъ признакамъ онъ узнаетъ достаточно мощный слой почвы, расположенный надъ непроницаемой областью, то онъ знаетъ, что инфильтрующаяся вода скопляется въ долинѣ или руслѣ, т. е. тамъ, гдѣ послѣ дождей скопляются поверхностныя воды. Отсюда проистекаетъ его законъ, состоящій въ томъ, что „въ каждой низинѣ, поперечной долинѣ, ущельѣ, ложбинѣ и складкѣ почвы находится скрытый или видимый водяной потокъ (ср. гл. 10). На ближайшемъ разстояніи отъ поверхности грунтовая вода находится въ центрѣ начала долины или складки почвы, въ каждомъ углубленіи тальвега и въ выходѣ долины; наибольшую мощность грунтовая вода имѣетъ у подошвы склона, пока она не успѣла еще распространиться по большому слою валуновъ долины. Количество ея пропорціонально области осадковъ (см. гл. 6); качества ея соотвѣтствуютъ проходимымъ ею формаціямъ и культурѣ почвы надъ детритомъ области (см. гл. 9.) Наиболѣе благопріятныя мѣста для шурфованія на грунтовую воду составляютъ: наиболѣе удаленное назадъ мѣсто A (фиг. 19) выступающей съ поверхности горной вершины, вершина C образуемаго въ склонѣ долины угла, точки B, D и т. д. складокъ почвы, въ которыхъ ея русло встрѣчается съ наиболѣе мощными наносами долины, и т. п.“ т. е. всѣ тѣ мѣста, которыя мы выше (см. гл. 10) находили наиболѣе благопріятными. Противъ этого ученія Парамеля, принятаго почти во всѣхъ сочиненіяхъ и руководствахъ по образованію ключей, въ данномъ случаѣ нечего возражать.

Въ гораздо меньшемъ числѣ случаевъ оказывается правильнымъ высказанный Парамеллемъ взглядъ на теченіе грунтовыхъ водъ въ самыхъ долинахъ. Онъ себѣ представляетъ это теченіе параллельнымъ поверхностнымъ потокамъ, что, какъ увидимъ ниже (см. отд. IV гл. 20), можетъ быть признано правильнымъ только въ исключительныхъ случаяхъ. Многіе другіе техники вполнѣ согласны съ его мнѣніемъ. Мы еще разъ вернемся къ этому вопросу ниже (см. отд. II).

Надеждѣ на успѣшное шурфованіе во всѣхъ случаяхъ значительно способствуетъ знакомство съ тѣми мѣстами, въ которыхъ существуютъ перемежающіеся ключи, а главнымъ образомъ ключи, появляющіеся во время высокаго стоянія воды въ ближайшихъ рѣкахъ. Очень ясно, что подъ этими ключевыми истоками проходитъ грунтовый потокъ, со сливомъ котораго мы имѣемъ дѣло въ данномъ случаѣ. Обыкновенно въ этихъ случаяхъ горизонтъ грунтовыхъ водъ лежитъ неглубоко подъ поверхностью почвы, и нѣсколькими испытаніями легко опредѣлить мощность и направленіе потока. Такимъ образомъ перемежающіеся ключи представляютъ собой надежный признакъ существованія грунтовыхъ водъ. Они обыкновенно находятся въ тѣхъ мѣстахъ, подъ которыми въ подпочвенномъ потокѣ сопротивленія движенію начинаютъ возрастать (см. гл. 7), и во всѣхъ почти случаяхъ вблизи нихъ находятъ довольно большія количества воды (ср. гл. 10 п. 8).

Постоянно бьющіе ключи служатъ признакомъ того, что вблизи нихъ уровень грунтовыхъ водъ долженъ быть выше истока; если такихъ ключей имѣется нѣсколько, то они могутъ служить исходной точкой для отысканія питающаго изъ грунтоваго потока. Въ низинахъ часто удается путемъ разработки ключей значительно увеличить даваемое ими количество воды или, исходя изъ нихъ, находить новые источники воды.

Надлежащія геогностическія условія для буренія артезіанскихъ колодцевъ мы разсмотримъ ниже (см. отд. II.

Что касается возможности находить воду въ другихъ геологическихъ фармаціяхъ внѣ наносной почвы, то раньше всего, какъ уже сказано выше, необходимо путемъ научныхъ изслѣдованій ознакомиться со свойствами горныхъ породъ—съ геотектоникой горной области. Приведенныя выше въ гл. 10 подъ п. 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 условія образованія ключей въ одинаковой степени справедливы и для такихъ подпочвенныхъ потоковъ, которые не выходятъ на дневную поверхность; точно также во всѣхъ случаяхъ, когда упомянутыя условія выполнены, но ключи не появляются, можно съ совершенной увѣренностью заключить о скрытомъ водяномъ истокѣ вблизи тѣхъ мѣстъ, на которыхъ по приведеннымъ выше соображеніямъ должны находиться ключи.

Необходимо еще здѣсь упомянуть, что въ разсѣлинахъ горныхъ породъ (на выходныхъ концахъ породы, а также и внутри ея) обыкновенно находятся наибольшія количества воды; что всѣ слоистыя породы легко воспринимаютъ въ себя воду изъ стоячихъ или текучихъ водоемовъ и направляютъ ее дальше по направленію уклона пластовъ; что при круто направленныхъ пластахъ, т. е. съ уклономъ въ 45° и больше, большей частью происходитъ весьма быстрый протокъ водъ, и промежутки породы оказываются порожними тотчасъ-же по прекращеніи притока къ нимъ воды; что въ умѣренно трещиноватыхъ, пористыхъ породахъ съ небольшимъ паденіемъ или уклономъ пластовъ существуютъ наиболѣе благопріятныя условія, а въ однородныхъ компактныхъ породахъ—наименѣе благопріятныя условія для развитія постоянныхъ грунтовыхъ потоковъ.

Принятое въ настоящее время раздѣленіе геологическихъ формацій приводится во всѣхъ спеціальныхъ руководствахъ по геологіи. Что-же касается существующихъ внутри отдѣльныхъ подраздѣленій благопріятныхъ и неблагопріятныхъ условій для развитія подпочвенныхъ потоковъ, то какъ уже было упомянуто выше (см. гл. 10), общіе данныя не могутъ имѣть значенія; необходимо также принять во вниманіе, что рѣдко гдѣ въ дѣйствительности породы слѣдуетъ одна за другой въ томъ порядкѣ, какъ это описано въ книгахъ. Обыкновенно недостаетъ отдѣльныхъ членовъ; другіе-же вслѣдствіе взбрасыванія и изгиба кажутся расположенными въ обратномъ порядкѣ напластованія и т. д. Во всякомъ случаѣ опытъ показываетъ, что въ кристаллическихъ сланцевыхъ породахъ, состоящихъ изъ твердыхъ и мягкихъ слоевъ, рѣже встрѣчается трещиноватость перпендикулярная къ уклону пластовъ, такъ что эти породы большей частью проводятъ воду по поверхностямъ соприкосновенія мягкихъ пластовъ съ твердыми. Но и въ этомъ случаѣ бываютъ исключенія. Во всѣхъ формаціяхъ встрѣчаются глинистые, почти непроницаемые для воды пласты, надъ которыми постоянно скопляются и движутся грунтовыя воды; точно также сланцеватая структура простирается на многія другія породы. Въ совершенно или приблизительно горизонтальныхъ пластахъ подобные сланцы обыкновенно весьма трудно проницаемы для воды. Песчаники и известняки, встрѣчающіеся какъ въ палеозойскихъ, такъ и въ мезозойскихъ и кенозойскихъ группахъ, почти всѣ безъ исключенія сильно трещиноваты; если они дренированы другими трещиноватыми породами, то въ большинствѣ случаевъ они представляютъ собой только переходныя станціи для грунтовыхъ водъ; если-же они расположены надъ мало проницаемыми породами или если они окружены послѣдними, то они

становятся водноосными слоями большей частью съ громадными количествами грунтовыхъ водъ. Мульдообразныя или также и волнистыя напластованія слоевъ скопляютъ грунтовыя воды въ отдѣльныхъ мѣстахъ или по направленію опредѣленныхъ линій; для добыванія большихъ количествъ воды при небольшомъ протяженіи сборныхъ сооруженій весьма полезно будетъ тщательное изученіе этихъ напластованій. Чѣмъ отложе уклонъ слоевъ, тѣмъ значительнѣе обыкновенно бываетъ дренируемая ими область, и обратно. Но вслѣдствіе множества необозримыхъ и неожиданныхъ трещинъ, прорывовъ или скрытыхъ выступовъ вулканическихъ породъ и т. д. всѣ подобныя правила допускаютъ массу исключеній, и мы считаемъ нужнымъ еще разъ здѣсь повторить, что ими нельзя руководствоваться при общихъ заключеніяхъ безъ предварительныхъ спеціальныхъ геогностическихъ изслѣдованій.

О пріобрѣтаемыхъ водой химическихъ свойствахъ отъ протеканія ея черезъ различныя породы мы говорили выше (см. гл. 9).

Что касается остальныхъ сторонъ этого вопроса, то невозможно входить во всѣ его детали, не приводя цѣлаго громаднаго ряда наблюденій; въ предѣлахъ программы и объема нашей книги этотъ вопросъ подробно будетъ нами разсмотрѣнъ ниже (см. отд. II). При этомъ главнымъ образомъ будетъ разсмотрѣно вліяніе нарушеній состоянія равновѣсія на теченіе грунтовыхъ потоковъ въ нѣдрахъ породъ, которое въ общемъ разсмотрѣно нами выше (см. гл. 7); послѣдствія механическихъ и химическихъ измѣненій свойствъ водоноснаго слоя были разсмотрѣны нами въ гл. 12.

Относительно открыванія грунтовой воды въ горныхъ породахъ можемъ еще присовокупить слѣдующее:

1. На плоскихъ возвышенностяхъ, расположенныхъ совершенно или почти горизонтально на значительныхъ протяженіяхъ безъ мощныхъ слоевъ наноса, обыкновенно находится мало воды, такъ какъ въ этихъ случаяхъ или порода бываетъ непроницаема, и дождевыя воды стекаютъ съ края плоскогорія, не образуя инфильтраціи, или же если она проницаема, то воды проникаютъ вглубь и изливаются на окаймляющихъ плоскогорье склонахъ; при этомъ въ самыхъ крайнихъ случаяхъ только весьма небольшая часть этихъ водъ можетъ быть добыта помощью глубокихъ колодцевъ.

2. Поэтому для открыванія грунтовой воды въ горныхъ областяхъ необходимо на первомъ планѣ принять въ соображеніе горные склоны; эти области своимъ началомъ или происхожденіемъ обязаны частью поднятіямъ и частью осѣданіямъ отдѣльныхъ дислокаціонныхъ поясовъ и частью размыванію. На второмъ планѣ стоитъ мульдообразный видъ слоевъ, который допускаетъ открываніе артезіанскихъ колодцевъ, если проницаемые слои замкнуты между непроницаемыми, какъ мы это увидимъ ниже (см. отд. II).

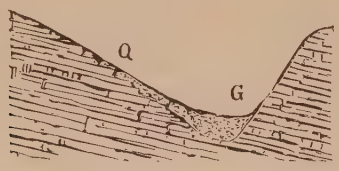
3. Въ размытыхъ долинахъ, указывающихъ на вполнѣ или почти горизонтальное напластованіе слоевъ породъ, вслѣдствіе подобнаго геогностическаго строенія вода не имѣетъ склонности выступать преимущественно съ одной какой-либо стороны долины. Въ этихъ случаяхъ воды большей частью черезъ вертикальныя трещины проникаютъ вглубь, гдѣ онѣ сообщаются между собой по сопряженнымъ щелямъ, и если не переходятъ въ другія области, то по случайнымъ, направленнымъ къ подошвѣ долины, выходамъ изливаются въ находящемся на ней наносѣ, или выступаютъ въ видѣ ключей, то съ правой, то съ лѣвой стороны долины. Такимъ образомъ здѣсь нельзя ука-

зать наиболѣе благопріятныя мѣста для добыванія воды; вообще-же дренированіе вдоль тальвега *G* (ф. 29) дастъ наилучшіе результаты, если только мѣста выходовъ изъ щелей не обнаруживаются въ видѣ перемежающихся или постоянныхъ ключей. То же самое имѣетъ мѣсто при крутомъ направленіи слоевъ, при чемъ воды сперва сообщаются по щелямъ на значительныхъ глубинахъ и направляются кверху по случайнымъ отверстіямъ.

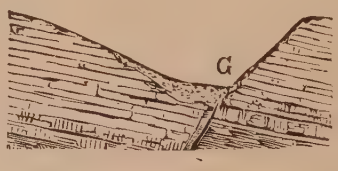
Фиг. 29.

4. Совсѣмъ иначе происходитъ явленіе, если долина вымыта въ горной области съ опредѣленнымъ однороднымъ наслоеніемъ. Въ этихъ случаяхъ мѣстность на выходныхъ концахъ слоевъ *Q* (ф. 30) всегда безъ исключенія отложе противоположнаго берега, праваго на чертежѣ. Вода появится на выходныхъ концахъ слоевъ въ видѣ-ли ключей или въ видѣ грунтоваго потока, текущаго подъ почвеннымъ покровомъ къ тальвегу. Такимъ образомъ здѣсь постоянно вѣроятнѣе всего находить воду съ болѣе отлогой стороны долины; само собой разумѣется, что количество открываемой воды возрастаетъ по мѣрѣ приближенія сборныхъ сооруженій къ тальвегу *G*.

Фиг. 30.



Фиг. 31.



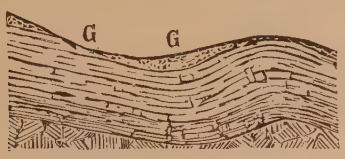
Этотъ внѣшній видъ при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можетъ повести къ ошибкамъ, если подъ тальвегомъ G находится щель отъ взбрасыванія породы, какъ изображено на ф. 31. Въ этихъ случаяхъ обыкновенно выходъ слоевъ бываетъ сильно трещиноватъ, и воды проникаютъ въ щель, въ которой онѣ по существующимъ широкимъ путямъ направляются кверху, а иногда, въ зависимости отъ соприкасанія слоевъ вдоль щелей, онѣ направляются въ другія области. Такимъ образомъ, если здѣсь вообще можно разсчитывать на полученіе грунтовыхъ водъ — что опредѣляется детальными геогностическими изслѣдованіями и прибылью воды въ открытыхъ водяныхъ потокахъ въ этой долинѣ—то наиболѣе благопріятныя для ея открыванія мѣста расположены надъ щелью.

5. Растянутые въ длину слегка выпуклые горные хребты, расположенные впереди значительныхъ горныхъ кряжей, если геогностическое ихъ строеніе подобно изображенному на ф. 32, и если они свободны отъ внезапныхъ взбрасываній, служатъ признакомъ, что въ образуемой между ними и большими горными цѣпями мульдѣ можно найти грунтовыя воды. Вслѣдствіе изгиба расположенной надъ непроницаемымъ слоемъ проницаемой породы въ послѣдней образуются щели, которыя большей частью зіяютъ на наружныхъ вогнутостяхъ. Такимъ образомъ воды легко могутъ выступать какъ по направленію къ *Q*, такъ и къ G, и тѣмъ больше, чѣмъ больше относительное возвышеніе предгорья, и чѣмъ значительнѣе вызванный имъ подпоръ горизонта грунтовыхъ водъ. Въ подобныхъ случаяхъ большей частью можно разсчитывать на значительныя количества

воды. Наиболѣе благопріятныя мѣста для открыванія грунтовыхъ водъ лежатъ въ наиболѣе глубокомъ мѣстѣ мульды.

6. Часто встрѣчаются долины, на стѣнкахъ которыхъ слои имѣютъ антиклинальное паденіе (ф. 33). Здѣсь на полученіе грунтовыхъ водъ на склонахъ долинъ нѣтъ никакой надежды. Наоборотъ, подошвы такихъ долинъ почти безъ

Фиг. 32.



Фиг. 33.

исключенія и на весьма значительную глубину заполнены обломками породъ. Въ этихъ обломкахъ находится тѣмъ большее количество воды, чѣмъ меньше ея можетъ вытекать изъ равномѣрно наслоенныхъ пластовъ, и въ подобныхъ случаяхъ почти безъ исключенія можно ожидать успѣшныхъ результатовъ, если шурфованіе на грунтовую воду произведено въ глубинѣ долины.

Указавъ еще разъ на то, что сюда-же относятся разсмотрѣнные выше въ гл. 10 п. 3. 4. 5. 6. 7. 8 и 9 случаи, распространеніе которыхъ не ограничивается только появленіемъ ключей, замѣтимъ здѣсь мимоходомъ, что очень часто отдѣльнымъ личностямъ приписываютъ особую способность или чутье находить скрыто-текущія воды безъ всякихъ научныхъ знаній. Даже изобрѣтали инструменты, которые въ рукахъ надлежащихъ медіумовъ указываютъ на тѣ мѣста, гдѣ можно находить воду.

Съ своей стороны мы считаемъ приведенные нами выше индуктивные способы болѣе надежными.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ обратить вниманіе на то, что не только на низменностяхъ, въ долинахъ, на горныхъ склонахъ и т. под. мѣстахъ находятъ грунтовыя воды, которыя могутъ быть примѣнены для водоснабженія, но что подобныя прѣсныя воды можно находить подъ морскимъ дномъ; вообще весьма рѣдко бываетъ, что соленая морская вода проникаетъ глубоко въ расположенныя подъ морскимъ дномъ породы, какъ это доказано непосредственнымъ опытомъ (напр., при предварительныхъ работахъ по проведенію подводнаго туннеля между Франціей и Англіей). Прѣсныя воды съ материковъ подъ высокимъ напоромъ оттѣсняютъ морскую воду назадъ.

Что касается послѣдовательности работъ, служащихъ для окончательнаго увѣренія въ имѣющихся въ данной области и достижимыхъ грунтовыхъ водахъ, то раньше всего слѣдуетъ испытать всѣ тѣ средства, которыя безъ значительныхъ затратъ могутъ служить къ разъясненію дѣла. Сюда относятся упомянутые нами пріемы и предварительныя работы, преимущественно геогностическія изслѣдованія, которыя большей частью могутъ быть исполнены безъ крупныхъ затратъ и почти безъ исключенія служатъ для удешевленія дальнѣйшихъ неизбѣжныхъ пробныхъ работъ.

Затѣмъ уже слѣдуетъ приступить къ пробнымъ работамъ. По самому характеру и природѣ дѣла оказывается, что эти работы могутъ составить часть будущихъ работъ по добыванію и сбору воды, и это обстоятельство по возможности слѣдуетъ всегда имѣть въ виду, даже если вслѣдствіе этого повысятся

матеріальныя затраты на эти работы. Подробности о способахъ шурфованія, изслѣдованія мощности грунтовыхъ потоковъ и проч. будутъ изложены нами ниже (см. Отд. II при разсмотрѣніи устройства колодцевъ, водосборныхъ сооруженій и проч.

Изъ опыта намъ хорошо извѣстно, что поручители работъ обыкновенно предоставляютъ въ распоряженіе водопроводнаго инженера для цѣлей предварительныхъ изысканій и проч. весьма незначительныя средства, и тѣ весьма нехотно, и что гораздо легче работать тому, который знакомъ съ мѣстностью и а priori можетъ безошибочно признать извѣстное мѣсто дающимъ воду. Во всякомъ случаѣ слѣдуетъ лучше упустить порученіе, нежели отказаться отъ основательныхъ предварительныхъ работъ.

Послѣ долгаго опыта и внимательнаго наблюданія въ практикѣ всякій инженеръ будетъ чувствовать себя въ состояніи весьма быстро и повидимому вѣрно сообразить всѣ обстоятельства для каждаго отдѣльнаго случая; несмотря на то многія предпріятія, выполненныя такимъ образомъ и безъ предварительныхъ работъ и проч., потерпѣли неудачу. Тотъ, который занимается добываніемъ воды постоянно только вблизи большихъ рѣкъ, съ весьма большой увѣренностью въ результатѣ, ни разу безошибочно не достигалъ своей цѣли — при всякихъ другихъ условіяхъ.

Поэтому здѣсь слѣдуетъ рекомендовать весьма большую осторожность и осмотрительность въ дѣйствіяхъ. По нашему мнѣнію, работа по открыванію воды никогда не слѣдуетъ считать оконченной, когда вѣроятность отысканія опредѣленнаго количества воды стала достовѣрной путемъ провода воды на дневную поверхность, такъ какъ въ этомъ случаѣ намъ неизвѣстно, имѣемъ-ли мы предъ собой наибольшее, среднее или наименьшее количество воды, между тѣмъ какъ насъ интересуетъ именно это послѣднее. Только многолѣтнія наблюденія могутъ успокоить насъ насчетъ безпрерывно достаточной производительности прошурфованныхъ источниковъ добыванія воды.

Много спеціальныхъ примѣровъ добыванія воды будетъ нами приведено ниже (см. отд. II).

12. Измѣненія прибыли воды и постоянства источниковъ добыванія воды.

Выше (гл. 6 и 7) мы видѣли, что во время продолжительныхъ засухъ или послѣ прекращенія инфильтраціи въ почву должно происходить уменьшеніе производительности ключей, такъ какъ тогда истеченія происходятъ исключительно только насчетъ имѣющихся въ почвѣ запасовъ. Въ зависимости отъ величины подпочвеннаго резервуара и количества истекающей воды, существенно зависящаго отъ ширины выпускныхъ каналовъ, согласно приведеннымъ въ гл. 7 теоретическимъ соображеніямъ, устанавливается соотношеніе между наибольшей производительностью ключа и временно истекающимъ количествомъ воды.

Все сказанное относительно ключей въ одинаковой степени относится и къ грунтовой водѣ. Условія, уменьшающія притокъ послѣднихъ, совокупность благопріятныхъ моментовъ въ низинахъ, и главнымъ образомъ вліяніе уровня воды въ поверхностныхъ водоемахъ подробно разсмотрѣны нами выше (гл. 7).

Въ то время, какъ для давно существующихъ ключей мы по опыту знаемъ наибольшія и наименьшія количества даваемой ими воды, а слѣд. можемъ съ

нѣкоторой достовѣрностью знать колебанія въ ихъ производительности; для искусственныхъ водоотводовъ существуютъ только болѣе или менѣе достовѣрныя предположенія, по которымъ мы можемъ опредѣлить существующія колебанія въ количествѣ истекающей воды. Такимъ образомъ искусственнымъ водоотводамъ по самой ихъ природѣ слѣдуетъ, какъ мы это и совѣтуемъ, оказать меньше довѣрія относительно ихъ постоянства, нежели существующимъ во многихъ областяхъ въ теченіи столѣтій надежнымъ естественнымъ отводамъ грунтовыхъ водъ: въ послѣднихъ водяное хозяйство уже вполнѣ установлено, а въ первыхъ оно еще находится въ періодѣ регулированія и часто подвержено случайнымъ нарушеніямъ.

Весьма важно принять во вниманіе, что глубоко лежащіе ключи и грунтовыя воды обнаруживаютъ меньшія колебанія въ своемъ постоянствѣ, нежели ключи на склонахъ горъ; ввиду постояннаго стремленія воды стекать вглубь и ввиду многочисленныхъ видимыхъ и невидимыхъ путей, поддерживающихъ это стремленіе, дальнѣйшія доказательства правильности этого заключенія дѣлаются излишними, и еще тѣмъ болѣе, что во всемъ этомъ отдѣлѣ мы неоднократно имѣли случай указывать на это.

Что касается временнаго появленія максимальной и минимальной производительности, то мы уже замѣтили выше (см. гл. 4), что въ нашихъ широтахъ это явленіе обусловливается не одними только дождями, но также и таяніемъ замерзшихъ гидрометеоровъ; въ то время какъ вообще на среднихъ горахъ и равнинахъ наивысшій уровень воды въ ключахъ, а также и грунтовыхъ водъ, бываетъ весной, а наименьшій лѣтомъ или осенью, въ Альпійскихъ странахъ или вообще во всѣхъ ключахъ и грунтовыхъ водахъ, находящихся въ связи съ глетчерами и тающими снѣгами, это явленіе бываетъ обратно. Зависимость колебанія производительности ключей и уровня грунтовыхъ водъ отъ испаренія и зависимость послѣдняго отъ почвенной культуры и недостатка насыщенія воздуха подробно разсмотрѣны нами выше (см. гл. 2).

Ниже мы приводимъ небольшой рядъ наблюденій надъ высокими, средними и низкими стояніями воды въ ключахъ; изображеніе колебаній грунтовой воды приведено въ весьма удобной формѣ въ книгѣ Сойка [1]), къ которой мы отсылаемъ интересующихся за недостаткомъ мѣста для приведенія ея здѣсь хоть частью. Само собой разумѣется, что приведенныя здѣсь какъ высокія, тамъ и низкія стоянія водъ не представляютъ собой абсолютно наибольшихъ и наименьшихъ величинъ, такъ какъ причины повышенія и пониженія уровня водъ не ограничены никакими предѣлами и какъ до, такъ и послѣ наблюденій могутъ вызвать измѣненія какъ въ положительную, такъ и въ отрицательную сторону.

Отношеніе производительностей при низкихъ уровняхъ и высокихъ въ приведенныхъ данныхъ колеблется между 1 : 2 (для Фрейбурга) и 1 : 3 (для Вилера); впрочемъ иногда колебанія бываютъ еще больше. Такъ Герстнеръ приводитъ свои наблюденія надъ ключемъ при Ауэрбахѣ, который въ Апрѣлѣ 1881 г. давалъ 11 литр. въ секунду, а въ Августѣ 1881 г. онъ давалъ 0,18 литр. въ секунду, такъ что колебаніе производительности составляетъ 1 : 61.

Въ таблицѣ въ скобкахъ приведены имена наблюдателей рядомъ съ названіями ключей.

Ясная картина производительности ключа получается многолѣтними непрерывными наблюденіями, какія до настоящаго времени производятся Бельграндомъ (нынѣ Бехманомъ) въ Парижѣ надъ ключами Дюи и Ваннъ, Городскимъ Строительнымъ Управленіемъ въ Вѣнѣ надъ высокими ключами, Винтеромъ въ Висбаденѣ надъ тамошними ключами и друг. Такія наблюденія имѣютъ весьма важное значеніе. Для водоснабженія важны не только наибольшія и наименьшія количества даваемой ключемъ воды, но глав-

[1]) Soyka. Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse. Wien 1888.

нымъ образомъ весьма важное значеніе имѣетъ также состояніе ключей въ періоды наибольшей потребности въ водѣ (обыкновенно въ лѣтнее время) (ср. гл. 4.)

Мы вернемся къ этому предмету еще разъ ниже въ отд. II.

Наименованіе ключей.	Формація.	Производительность въ литр. въ секунду.		
		Высокій уровень.	Средній уровень.	Низкій уровень.
Ключъ р. Соргю при Воклюзѣ (Добрэ).	Неокомовая	120000	12000	5500
Ключъ р. Аахъ въ Баденѣ (бумагопрядильня Арленъ)	Бѣлая юра	25000	6000	2500
Ключъ Блаутопфъ при Блаубейернѣ (Эманнъ)	Бѣлая юра	8000	1300	350
Высокіе ключи Вѣнскаго водопровода (Граве)	Тріас. Известь	2881	1000	278
Ключи р. Дюи возлѣ Парижа (Бельграндъ)	Третичная	460	300	197
Ключъ Арментьеръ, Ваннъ, Парижъ (Бельграндъ)	Мѣловая	1123	200—300	37
Ключъ Серилли, Ваннъ, Парижъ (Бельграндъ)	Мѣловая	311	150	72
Ключи Аахенскаго водопровода (Теймъ).	Каменноугольный известнякъ	116	?	80
Ключи Штадтбаха при Бернѣ (Лаутербургъ).	Моласовая	324	?	76
Ключи Фрейбургскаго водопр. (Шнелль)	Дилувіальная	140	90	70
Вилеръ, Лорренъ и Беунденфельдъ у Берна (Лаутербургъ)	Моласовая	155	?	5
Пфаффенборнскіе ключи въ Висбаденѣ (Винтеръ)	Наносъ и девонская.	103	51	8
Городской водопроводъ въ Баденъ-Баденѣ (Кунъ).	Пестрый песчаникъ	72	30	16
Вольфсбрунненъ при Гейдельбергѣ (Драхъ)	Пестрый песчаникъ	51	20	6
Ключъ Маушекъ при Висбаденѣ (Винтеръ)	Девонская	20	8	4

Вліяніе находящихся на почвѣ растительныхъ культуръ на количество инфильтрацій, а слѣд. и на обиліе ключей было нами подробно разсмотрѣно выше въ гл. 2, 3, 4, 5 и 6. Здѣсь прибавимъ только, что производительность какой-либо области совершенно измѣняется и постоянно понижается, если она съ культурными цѣлями снабжается отводными канавами, искусственными дренажами и т. под. Подобныя сооруженія, преимущественно при значительномъ уклонѣ поверхности почвы, настолько гибельны для существованія ключей, что иногда понижаютъ производительность послѣднихъ до нуля; поэтому въ такихъ областяхъ, гдѣ подобныя сооруженія устроены, или гдѣ устройство ихъ возможно или имѣется въ виду, разсчитывать на ключи для водоснабженія или примѣнять ихъ слѣдуетъ только въ исключительныхъ случаяхъ.

Очень часто производительность ключей измѣняется вслѣдствіе происходящихъ внутри породы дислокацій заполняющихъ ея щели и трещины матеріаловъ или вслѣдствіе закупориванія или расширенія проходовъ для воды подъ вліяніемъ различныхъ химическихъ дѣйствій. Постепенное заполненіе щелей трещинъ, разсѣлинъ и проч. можетъ еще произойти отъ притока по этимъ путямъ мутной воды. Меньше всего подобнымъ измѣненіямъ подвержены грунтовыя воды въ наносахъ низменностей, такъ какъ здѣсь скорость подпочвеннаго

потока чрезвычайно мала, а трещиноватость почвы почти совершенно исключена; условія для развитія подобныхъ явленій, наоборотъ, тѣмъ благопріятнѣе, чѣмъ больше трещинъ и щелей находится въ породѣ, чѣмъ больше скорость движенія грунтовыхъ водъ, и чѣмъ легче порода уступаетъ механическому и химическому дѣйствію на нее воды. Поэтому по мѣрѣ возвышенія надъ подошвами долинъ опасность отъ подобныхъ измѣненій возростаетъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ подобныя явленія вызываются искусственно обдѣлкой ключей, о чемъ подробно изложено будетъ ниже (см. отд. II).

О заимствуемыхъ водой изъ породъ растворахъ и о дальнѣйшихъ измѣненіяхъ этихъ растворовъ мы упомянули выше (см. гл. 9). Здѣсь невозможно описать всѣ тѣ многочисленныя измѣненія, новообразованія и проч., стоящія въ связи съ происходящими въ почвѣ химическими и механическими процессами и составляющія предметъ геологіи.

Но многія изъ подобныхъ измѣненій продолжаются и теперь и происходятъ въ относительно короткое время; объ нихъ считаемъ нелишнимъ сказать здѣсь нѣсколько словъ.

Прежде всего ясно обнаруживаются измѣненія въ известковыхъ породахъ и известнякахъ. При очень многихъ выходахъ ключей, вслѣдствіе осажденія изъ воды углекислой извести, выходныя отверстія постоянно засариваются и закупориваются, такъ что водяные потоки въ нѣдрахъ земли, а иногда даже въ открытыхъ руслахъ, постоянно измѣняются

Выдающіеся примѣры подобнаго явленія даютъ Карлсбадскіе ключи, а также ключи и русло С.-Велино при Терни; въ первомъ изъ указанныхъ мѣстъ прорывы, происходящіе отъ заплыванія существующихъ выпускныхъ отверстій, вызываютъ безпрерывные ремонты и перестройки; осажденія углекислой извести при Терни даже прямо поразительны, и даже въ самомъ руслѣ Неры продолжается образованіе травертина (известковаго туфа красноватаго цвѣта). Во многихъ другихъ мѣстахъ Апеннинскаго полуострова и безчисленномъ множествѣ различныхъ мѣстъ земной поверхности обнаруживаются подобныя-же явленія; обыкновенный прѣсноводный известнякъ представляетъ собой только болѣе компактный видъ подобныхъ туфовъ. Всѣ подобные осадки предварительно растворяются водой внутри породъ, а именно не только при обмываніи породы снаружи — въ щеляхъ и трещинахъ, — но преимущественно при ея теченіи черезъ поры породы. По мнѣнію Гофмана [1]) этотъ проходъ воды никогда не обусловливается существующими порами: „вода движется между частицами минераловъ“ постепенно создавая скважность, даже если раньше ея не существовало. Непрерывнымъ теченіемъ воды, если она чиста, эти поры необходимо должны увеличиваться. Точно также опытъ показываетъ, что раствореніе извести происходитъ и при низкихъ температурахъ воды, при чемъ даже въ ледниковыхъ пещерахъ мѣловыхъ горъ оказывались сталактиты и другія натечныя образованія, происходящія отъ просачиванія воды черезъ поры горной породы [2]). Но какъ съ одной стороны различныя новообразованія могутъ закупоривать существующіе пути, точно такъ-же продолжающіяся безпрерывныя измѣненія должны создать новые пути проницаемости породы.

Точно такимъ-же путемъ растворе́ніе матеріала и различныя новообразованія происходятъ и въ кристаллическихъ и вулканическихъ породахъ, преимущественно если ключевыя воды содержатъ въ себѣ кремнекислый натръ съ болѣе или менѣе значительнымъ содержаніемъ свободной кремневой кислоты; при этомъ образуются полныя закупориванія водопроводныхъ каналовъ, и вода устремляется къ другимъ выходнымъ отверстіямъ.

Въ песчаникахъ различныхъ геологическихъ формацій измѣненіе подземныхъ путей инфильтрацій производится отдѣляемыми отъ породы подъ совокупнымъ химическимъ и механическимъ дѣйствіемъ воды обломками и продуктами тренія или детритомъ. Какъ намъ извѣстно (см. гл. 10 и 11), ключи всегда появляются на выходныхъ концахъ этихъ горныхъ пластовъ, склоны которыхъ большей частью покрыты слоями горнаго мусора. Они сперва затрудняютъ вымываніе песковъ, происходящихъ извнутри породъ и примѣшанныхъ къ водѣ, вслѣдствіе чего происходитъ скопленіе ихъ въ трещинахъ и щеляхъ породы. Если подъ вліяніемъ естественныхъ или искусственныхъ причинъ свойства подобныхъ пріемниковъ измѣняются — преимущественно если они частью удалены или сдѣлались легко проницаемыми,—то

---

[1]) Hoffmann, W. Ueber Wasseraufnahme von Gesteinen. Civilingenieur. 1890 г. стр. 437.

[2]) Grove, H. Hydrologische Studien. Wien. 1887.

вода выноситъ съ собой громадныя количества песку извнутри породы, и освободившіеся теперь пути для прохода воды совершенно измѣняютъ теченіе всей системы ключа. Нѣкоторые прежде обильные ключи исчезаютъ, а изъ нѣкоторыхъ, наоборотъ, притокъ воды увеличивается; часто во всей области происходитъ пониженіе горизонта грунтовыхъ водъ на продолжительное время, и это уменьшеніе величины подпочвеннаго резервуара имѣетъ общимъ своимъ послѣдствіемъ уменьшеніе постоянства водоносности ключей.

При нѣкоторыхъ обстоятельствахъ подобныя измѣненія, преимущественно вызванныя искусственными причинами (напр., устройствомъ штоленъ для обдѣлки ключа и проч.) влекутъ за собой болѣе или менѣе продолжительное мутнѣніе воды. Муть въ водѣ указываетъ на разрушительное дѣйствіе воды въ нѣдрахъ области и при очень мелкомъ или мягкомъ глинистомъ детритѣ можетъ даже вызвать насильственный сдвигъ всего горнаго массива.

Само собой разумѣется, что проникающія въ щели, воронки, разсѣлины, трещины и т. под. неочищенныя метеорныя воды, ежегодно вводящія въ нѣдра породъ извнѣ громадныя массы твердыхъ веществъ, засоряютъ и измѣняютъ пути, по которымъ грунтовая вода циркулируетъ въ щеляхъ породы. Въ этихъ случаяхъ ключи почти или окончательно закупориваются преимущественно глинистыми примѣсями.

Полное или временное высыханіе и появленіе новыхъ ключей, а также и уклоненія направленія потока грунтовыхъ водъ происходятъ также вслѣдствіе землетрясеній, т. е. внезапныхъ измѣненій въ положеніи горныхъ массивовъ, образующихъ собой земную кору. О причинахъ землетрясеній мы здѣсь не можемъ распространяться; послѣдствія-же землетрясеній состоятъ или въ однихъ только дислокаціяхъ, или въ заносахъ или, наконецъ, въ обоихъ вмѣстѣ.

Множество примѣровъ появившихся и исчезнувшихъ отъ землетрясеній ключей и особыя обстоятельства при этихъ явленіяхъ описаны въ различныхъ сочиненіяхъ, между прочимъ и въ гидрофизикѣ Лерша. Во многихъ мѣстахъ Италіи и Сициліи, гдѣ часто происходятъ землетрясенія, Росси констатировалъ связь между стояніемъ грунтовыхъ водъ и появленіями изверженій.

Между медленно дѣйствующими факторами, производящими измѣненіе теченія ключей и грунтовыхъ водъ, весьма важное мѣсто занимаютъ замѣчаемыя во многихъ мѣстахъ постоянныя о с ѣ д а н і я и п о д н я т і я большихъ поверхностей земли, тѣмъ болѣе значительныя, чѣмъ ровнѣе разсматриваемая мѣстность Затѣмъ весьма существенное вліяніе на теченіе ключей и грунтовыхъ водъ имѣетъ боковой сдвигъ рѣкъ, а преимущественно размывъ почвы поверхностными водами. Послѣдній часто обнажаетъ разсѣлины, трещины, щели и проч. и направляетъ грунтовыя воды по новымъ путямъ къ открытому водяному потоку къ которому она до тѣхъ поръ не притекала, а иногда обратно направляетъ громадныя количества воды открытаго водяного потока къ грунтовому потоку, отводящему эту воду въ другія области.

Боковые сдвиги значительныхъ глыбъ земной коры наблюдались во многихъ мѣстахъ. Боковое смѣщеніе рѣкъ и размывы безпрерывно измѣняютъ берега рѣкъ; здѣсь преимущественно энергично дѣйствуетъ извилистость русла рѣки. Такимъ путемъ могутъ быть перенесены водораздѣлы, могутъ образоваться пруды и долины и т. д.

Своеобразныя измѣненія производительности ключей обнаруживаются въ видѣ такъ называемаго интермитированія или перемежанія ключей. О главныхъ причинахъ перемежанія ключей мы упомянули выше (см. гл. 7). Но бываютъ также ключи, обнаруживающіе правильныя перемежанія въ теченіи опредѣленныхъ довольно короткихъ періодовъ времени, какъ напр., каждые два дня, ежедневно каждые полдня или по истеченіи нѣсколькихъ часовъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ приведенныя выше (гл. 7) причины связаны съ другими условіями, вліяющими на перемежаемость; въ подобныхъ случаяхъ періоды дѣйствія и покоя ключа весьма существенно зависятъ отъ количества атмосферныхъ осадковъ. Поэтому, напр., такъ называемые майскіе ключи, голодные ключи и т. под. вслѣдствіе своего пе-

ріодическаго появленія представляютъ собой перемежающіеся ключи. Мѣстности, бѣдныя дождями, часто отличаются обиліемъ въ нихъ перемежающихся ключей, пользованіе которыми для цѣлей водоснабженія въ нѣкоторыхъ случаяхъ является неизбѣжнымъ (ср. также гл. 11). Поэтому разсмотримъ ихъ вкратцѣ нѣсколько ближе.

Извѣстенъ и понятенъ тотъ фактъ, что нѣкоторые находящіеся вблизи моря прѣсные ключи во время прилива бываютъ обильнѣе, а во время отлива — бѣднѣе водой; причина перемежанія здѣсь кроется въ подпруживаніи впадающихъ въ море подпочвенныхъ потоковъ, стоящихъ въ связи съ ключами. Въ находящемся при Лиллѣ на разстояніи $8^1/_2$ географич. миль отъ моря ключѣ, напр., производительность колеблется между 33 и 64 литрами въ минуту; наибольшій притокъ изъ ключа (вслѣдствіе длиннаго промежуточнаго провода) наступаетъ только по истеченіи 8 часовъ послѣ наивысшаго морскаго прилива между Калэ и Дюнкирхеномъ [1]). Въ другихъ ключахъ, расположенныхъ близъ самаго морского берега, вода достигаетъ низшаго своего уровня во время прилива, а высшаго — при отливѣ; здѣсь, очевидно, проводъ для болѣе высокаго напора водъ хотя и не длиненъ, но заполненъ мелкозернистой водоносной породой, по которой колебанія передаются весьма медленно, подобно тому, какъ повышеніе и пониженіе уровня воды въ рѣкѣ передаются находящемуся въ материкѣ грунтовому потоку.

Ключи съ приливами по три раза въ день встрѣчаются довольно рѣдко. Въ Валь де Асса противъ Ремю (въ Швейцаріи) ключъ въ видѣ ручья вытекаетъ изъ известковой скалы по три раза въ день и три раза въ день высыхаетъ. Удивительный ключъ въ Кашмирѣ, Сендъ-Брари, трехкратнымъ своимъ истеченіемъ обязанъ періодичности таянія снѣговъ.

Въ Пюигро на юго-востокѣ отъ Шамбери (Савойя, Франція) ключъ течетъ 4 раза въ день съ перерывами въ 5—6 часовъ, въ зависимости отъ времени года. Ключъ Польтербрунненъ при Альтенбекѣ (въ Вестфаліи) временами совсѣмъ не течетъ; обыкновенно-же лѣтомъ черезъ каждые 6 часовъ течетъ въ теченіи короткаго времени; въ другое-же время года онъ течетъ черезъ каждые 4 часа въ теченіе 15 минутъ съ сильнымъ шумомъ и съ такой силой, что имъ могло бы быть приведено въ движеніе нѣсколько мельницъ. Ключъ въ аббатствѣ Го-Комбъ (въ Савойѣ, Франція), расположенный на высотѣ 127 метр. надъ уровнемъ воды въ озерѣ Бурже, истекаетъ подъ прямымъ угломъ изъ нѣдръ Монтань дю Ша черезъ каналъ шир. 0,35 метр., стѣнки котораго сильно обложены углекислой известью; промежутки между однимъ изліяніемъ и другимъ составляютъ обыкновенно 20 минутъ, а при сильныхъ засухахъ они бываютъ нѣсколько больше. Когда вода входитъ въ каналъ, то внутри горы слышится глухой гулъ производимый вытѣсненнымъ воздухомъ, который опять проникаетъ въ этотъ каналъ, какъ только прекращается истеченіе воды, причемъ замѣчается сильное всасываніе, какъ въ насосѣ. Въ извѣстномъ ключѣ при Фонтеторбѣ въ Пиренеяхъ у Белеста (Арьежъ, Франція) въ сухое время года замѣчается значительный перерывъ. Вода въ теченіи получаса вытекаетъ съ такой силой, что можетъ приводить въ движеніе мельницу, послѣ чего истеченіе на полчаса прекращается. По наблюденіямъ Дюбюиссона ключъ требуетъ 10 минутъ для своего поднятія, въ теченіи 30 минутъ онъ изливается со всей силой, а въ теченіи 35 минутъ онъ опять понижается до прежняго уровня воды, послѣ чего процессъ начинается снова.

Многіе другіе примѣры перемежающихся ключей приведены въ разныхъ руководствахъ по физической географіи и въ спеціальныхъ сочиненіяхъ по этому предмету.

При объясненіи этого явленія, по нашему мнѣнію, придается слишкомъ много значенія различнымъ пещерамъ съ ливерообразными соединительными путями, давленію углекислоты и другихъ газовъ и пр., хотя эти причины не могутъ быть исключены; но обыкновенно встрѣчающіяся перемежанія ключей большей частью проще объясняются тѣми путями, по которымъ течетъ грунтовая вода. Такъ, въ уложенномъ съ неодинаковымъ паденіемъ трубопроводѣ, если онъ слишкомъ широкъ относительно протекающаго черезъ него количества воды, можно наблюдать весьма правильное перемежаніе: въ слабо наклонныхъ участкахъ трубы вода заполняетъ все ея поперечное сѣченіе; если за ними слѣдуютъ участки трубъ съ сильными уклонами, то вода изъ нихъ устремляется впередъ, и это стремленіе вызываетъ разрывъ водяного столба, разрѣженное пространство, болѣе сильное надавливаніе воды сзади лежащаго участка трубы и т. д., словомъ сказать, всѣ тѣ явленія, которыя происходятъ при перемежаніи. По-

[1]) Compte rend. 1842.

добнымъ-же путемъ перемежаніе воды обнаруживается при паденіи постоянной водяной струи по короткимъ ступенямъ (каскадамъ); здѣсь стокъ съ нижней ступени бываетъ то очень силенъ, то очень слабъ, причемъ промежутки могутъ быть впередъ опредѣлены по секундамъ. Если нижній уровень воды одной ступени расположенъ очень близко отъ верхняго уровня воды сосѣдней ступени, то можетъ переливаться весьма немного воды; по мѣрѣ опорожненія нижней ступени увеличивается притокъ съ верхней; то-же относится къ слѣдующей ступени и т. д., и такъ эта періодичность повторяется постоянно на всемъ каскадѣ.

Ни при какихъ обстоятельствахъ правильное перемежаніе вообще не прекращающагося ключа не можетъ служить основаніемъ къ исключенію его примѣненія для цѣлей водоснабженія; подобные ключи большей частью принадлежатъ къ вполнѣ примѣнимымъ ключамъ, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ соотвѣтственной обдѣлкой можно совершенно устранить перемежаніе, если къ этому имѣются какія-либо основанія.

Многочисленныя наблюденія показали, что высота барометра вліяетъ на различные ключи, а также и на грунтовыя воды въ колодцахъ, такимъ образомъ, что при внезапномъ пониженіи давленія атмосферы уровень воды начинаетъ подыматься. Такъ какъ обыкновенно за подобными быстрыми пониженіями барометра слѣдуетъ дождь, то въ увеличеніи притока изъ ключей предъ началомъ дождя Новакъ [1]) видѣлъ подтвержденіе своей теоріи образованія ключей. Между тѣмъ поднятіе грунтовыхъ водъ въ колодцахъ, а также и увеличеніе притока изъ ключей весьма просто объясняется тѣмъ, что давленіе существующей внутри почвы и находящейся надъ горизонтомъ грунтовыхъ водъ подпочвенной атмосферы весьма медленно можетъ сравниваться съ давленіемъ внѣшней атмосферы, вслѣдствіе весьма значительныхъ сопротивленій движенію воздуха въ капиллярахъ почвы. Въ то время какъ надъ выходнымъ отверстіемъ атмосферное давленіе уже понизилось, надъ горизонтомъ грунтовыхъ водъ нѣкоторое время еще продолжаетъ существовать болѣе высокое давленіе, которое при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ вызываетъ увеличеніе притока.

Лазамъ [2]) былъ побужденъ къ своимъ наблюденіямъ по этому предмету владѣльцами мельницъ вблизи большихъ ключей, совершенно безошибочно заключавшихъ объ измѣненіи погоды по прибыли рабочей воды. Въ тѣ періоды, когда атмосферные осадки не могли имѣть никакого вліянія на ключи, онъ произвелъ рядъ изслѣдованій, показавшихъ, что всякое внезапное пониженіе барометра сопровождается увеличеніемъ количества воды въ ключѣ, которое опять прекращалось тотчасъ-же послѣ начала повышенія барометра. Колебанія притока воды изъ Кройдонскихъ ключей въ графствѣ Суррери къ югу отъ Лондона вслѣдствіе измѣненій атмосфернаго давленія составляли около 2000 куб. метр. въ сутки (23 литр. въ секунду). Эти результаты были затѣмъ подтверждены также и наблюденіями въ глубокихъ колодцахъ и проч. Лазамъ объясняетъ себѣ это явленіе силой расширенія газовъ. По наблюденіямъ Картелльери (приводимымъ въ книгѣ Nowàk'a) количество воды Франценсбадскихъ минеральныхъ ключей постоянно увеличивается предъ наступленіемъ дождя. Многочисленные другіе примѣры приведены въ различныхъ руководствахъ по физической географіи.

Если горизонтъ грунтовыхъ водъ въ проницаемой почвѣ стоитъ близко отъ поверхности почвы, то теченія вѣтровъ могутъ вліять на обиліе ключей; примѣромъ тому могутъ служить расположенные въ Зеегаузенѣ артезіанскіе

[1]) Nowak. Vom Ursprung der Quellen. Prag. 1879.

[2]) Latham. Influence of barometric pressure on the discharge of water from springs. Journ. gaslight. 1881. т. 38 стр. 474.

Einfluss des Atmosphärendruckes auf die Ergiebigkeit von Brunnen und Quellen. Centralbl. der Bauverwalt. 1882 стр. 8.

колодцы, о которыхъ будетъ сказано ниже въ отд. II. Если здѣсь господствуетъ продолжительный восточный вѣтеръ, то во всѣхъ обсадочныхъ трубахъ уровень воды замѣтно повышается; это явленіе объясняется увеличеннымъ атмосфернымъ давленіемъ на горизонтъ грунтовыхъ водъ.

Во многихъ отдѣльно стоящихъ областяхъ поверхностные водоемы, ключи и грунтовыя воды стоятъ въ нераздѣльной между собой связи. На это необходимо обратить вниманіе, если не желаютъ впасть въ ошибку относительно имѣющихся въ распоряженіи количествъ ключевой воды. Очень часто случается, что гдѣ-нибудь на высоко расположенномъ мѣстѣ появляется ключъ, который, открыто протекая нѣкоторое разстояніе, повидимому соединяется съ поверхностнымъ водоемомъ, но на самомъ дѣлѣ частью опять просачивается въ почву и служитъ для питанія второго, глубже лежащаго и иногда расположеннаго на весьма большомъ отъ него разстояніи, и т. д. Если для опредѣленія общаго количества воды въ данной области измѣрить отдѣльно каждый ключъ, то обыкновенно получается значительно большее количество воды, нежели можно получить послѣ обдѣлки ключей, такъ какъ при этомъ часть воды измѣряется дважды. На это обстоятельство слѣдуетъ обратить особое вниманіе въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣютъ дѣло съ ключами на обширныхъ заливныхъ сплошныхъ лугахъ, а преимущественно съ ключами въ весьма легко проницаемой почвѣ.

Замѣченный вообще въ нашемъ климатѣ фактъ постепенной убыли воды въ ключахъ, ручьяхъ, рѣкахъ и потокахъ частью объясняется интенсивнымъ истощеніемъ почвы растительными культурами, а также и быстрымъ отводомъ поверхностныхъ водъ путемъ постоянно усиливающихся спрямленій рѣкъ и проч., вслѣдствіе чего понижается горизонтъ грунтовыхъ водъ. Климатическія измѣненія въ разсматриваемыхъ областяхъ не доказаны, а также и мало вѣроятны. Съ этой стороны постоянство и производительность ключей, а также и стояніе грунтовыхъ водъ не подвержены никакимъ вреднымъ вліяніямъ.

ОТДѢЛЪ II.

Сооруженія для добыванія воды.

Введеніе.

Идеалъ хорошаго водоснабженія состоитъ въ постоянномъ обильномъ доставленіи хорошей питьевой воды для всѣхъ цѣлей.

Въ этомъ отдѣлѣ мы выяснимъ въ принципѣ и путемъ описанія исполненныхъ сооруженій тѣ способы, по которымъ доставляемая природой вода можетъ быть примѣнена для водоснабженія.

Отъ хорошей питьевой воды въ общемъ требуются три качества: она должна быть прозрачна, вкусна и здорова. Первымъ качествомъ по природѣ своей обладаютъ воды ключевыя и грунтовыя. Съ другой же стороны путемъ искусственныхъ средствъ, какъ напр., отстаиваніемъ, фильтрованіемъ и проч. возможно даже мутную воду сдѣлать прозрачной, какъ кристаллъ. Такимъ образомъ можно сказать, что при правильныхъ пріемахъ прозрачную воду можно доставать вездѣ. Второму условію, чтобы вода была вкусна, удовлетворить уже болѣе затруднительно. Начнемъ съ того, что понятіе „вкусная“ представляетъ собой понятіе весьма неточное и чисто индивидуальное, при чемъ оно можетъ быть въ разныхъ степеняхъ: положительной, сравнительной и превосходной. Въ сильной степени вкусъ обусловливается привычкой: бываютъ многіе люди, которымъ жесткая вода, даже съ содержаніемъ азотнокислыхъ и сѣрнокислыхъ солей и т. под. веществъ, весьма пріятна для питья, и которые увѣрены, что они не въ состояніи будутъ продолжительное время употреблять мягкую, почти химически чистую воду; многіе же, наоборотъ, предпочитаютъ мягкую воду для питья. Привыкшіе къ жесткой водѣ будутъ сопротивляться введенію мягкой воды, и обратно, такъ что въ этомъ отношеніи никогда нельзя будетъ удовлетворить всѣмъ требованіямъ. Наоборотъ, прѣсноселеная вода, находимая въ подпочвѣ на морскомъ берегу, всегда очень непріятна для питья, точно также какъ воды: болотная, съ содержаніемъ минеральныхъ примѣсей или съ непріятнымъ запахомъ. Третье условіе, требуемое отъ воды, а именно ея безвредность, несомнѣнно представляетъ собой самое важное ея качество.

Долгое время полагали, что содержащіяся въ обыкновенно встрѣчаемой въ природѣ водѣ вредныя примѣси и вліяніе ихъ на человѣческое здоровье могутъ быть опредѣлены путемъ химическихъ изслѣдованій и распознаваемы человѣческими органами чувствъ; вредными примѣсями преимущественно считались содержащаяся въ водѣ муть, присутствіе большихъ количествъ органическихъ веществъ и продуктовъ ихъ разложенія, придающее водѣ дурной вкусъ и запахъ, а также содержаніе амміака и азотистой кислоты, и затѣмъ металлическихъ ядовъ и, наконецъ, вредной считалась вода, которой жесткость превышаетъ 20 нѣмецкихъ градусовъ.

Въ послѣднее время, однако, пришли къ убѣжденію, что вода по химическому изслѣдованію можетъ быть признана хорошей, но, тѣмъ не менѣе, для употребленія—по крайней мѣрѣ для питья и въ домашнемъ хозяйствѣ—можетъ быть не безвредной. Частью уже давно и частью въ послѣднее только время врачебная практика доказала, что иногда вода является носительницей основныхъ или вспомогательныхъ причинъ различныхъ разстройствъ пищеваренія, поносовъ, изъязвленія кишекъ, дизентеріи, холеры, тифа, зоба, кретинизма кишечныхъ червей, лихорадочныхъ болѣзней и проч. При этомъ было доказано, что вода, оказавшаяся по химическому изслѣдованію чистой, гигіенически еще ни въ какомъ случаѣ не можетъ считаться чистой, и въ настоящее время между содержащимися во всякой естественно появляющейся водѣ вредными примѣсями различаютъ двоякія: ядовитыя химическія вещества и заразительно дѣйствующіе виды органической матеріи—потогенные микроорганизмы. Поэтому какъ дополненіе химическаго изслѣдованія воды въ настоящее время служитъ бактеріологическое ея изслѣдованіе (ср. отд. IV, гл. 1).

Химическія примѣси воды обыкновенно не очень вредны для человѣческаго здоровья потому, что большей частью онѣ содержатся въ весьма малыхъ количествахъ, и содержаніе ихъ въ водѣ остается постояннымъ; микроорганизмы, наоборотъ, для продолженія своего существованія и сохраненія способности къ размноженію требуютъ только минимальныхъ количествъ органическихъ питательныхъ веществъ, при существованіи которыхъ они даже въ сравнительно чистой водѣ быстро размножаются до невѣроятныхъ количествъ. Такимъ образомъ опасность съ этой стороны уже значительно больше.

Если совершенно чистый водяной паръ будетъ сгущаться на совершенно чистой охлаждающей поверхности, то образующаяся капельно-жидкая вода во всякомъ случаѣ должна быть совершенно чиста. Въ дѣйствительности же происходитъ обратное. Даже содержащійся въ атмосферѣ—подъ которой мы разумѣемъ совокупность надземной и подземной—водяной паръ смѣшанъ съ другими газами, пылью и т. д.; мы укажемъ здѣсь только на душную атмосферу нашихъ большихъ городовъ и фабричныхъ районовъ. Выдѣляемая изъ такой атмосферы капельно-жидкая вода, увлекающая съ собой пыль и жадно поглощающая въ себя газы, уже заблаговременно загрязнена различными примѣсями. Въ испорченной атмосферѣ большихъ городовъ подпочвенный воздухъ, подобно надземной атмосферѣ, даетъ конденсаціи, которыя весьма далеки отъ чистой воды. Противоположность этому представляетъ собой вода, сгущенная изъ неиспорченнаго воздуха и въ чистой почвѣ не населенныхъ горныхъ областей.

Такимъ образомъ вода до своего появленія въ жидкомъ видѣ въ почвѣ или на ея поверхности своими свойствами существенно обязана мѣсту ея образованія, и собранную дождевую воду ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ считать чистой.

Когда атмосферные осадки достигаютъ почвы или ея поверхности, то доставляемая ими капельно жидкая вода перетерпѣваетъ еще дальнѣйшія измѣненія. Во многихъ городахъ напр., къ вреднымъ примѣсямъ, заимствованнымъ уже изъ атмосфернаго воздуха, присовокупляются еще примѣси, притекающія къ почвѣ и просачивающіяся въ нее изъ ямъ, въ которыхъ очень

часто еще сохраняются нечистоты отхожихъ мѣстъ и проч. Кромѣ того, вслѣдствіе существованія мостовыхъ, тротуаровъ и проч., составляющихъ совершенно непроницаемый покровъ надъ почвой, въ нее просачивается весьма мало дождевой воды, такъ что подпочвенныя воды большею частью состоятъ изъ сгущеній паровъ подпочвеннаго воздуха и изъ упомянутыхъ добавочныхъ просачиваній, вслѣдствіе чего имѣютъ дурныя качества. Подобныя воды еще тѣмъ опаснѣе, что будучи загрязнены въ не слишкомъ значительной степени притоками гнилостнаго происхожденія, обладаютъ довольно пріятнымъ, раздражающимъ нёбо вкусомъ. Если онѣ помощью глубокихъ колодцевъ извлекаются изъ почвы, то въ лѣтнее время онѣ обладаютъ освѣжающей прохладой, т. е. еще другимъ пріятнымъ качествомъ, которое можетъ склонить въ пользу ея употребленія.

Опасность отъ употребленія подобной воды давно уже сознана большими городами, которые съ давнихъ поръ уже обратили вниманіе на проведеніе здоровой воды изъ отдаленныхъ мѣстностей, будучи къ этому вынуждены тѣмъ обстоятельствомъ, что существующіе ключи и грунтовыя воды, по мѣрѣ застройки инфильтраціонныхъ областей, сильно сокращались, такъ какъ конденсаціи изъ подпочвенной атмосферы даютъ весьма скудные притоки, а наружныя инфильтраціи при заселеніи этихъ областей почти прекращаются.

Вообще происходящія отъ дождей инфильтраціи служатъ главнымъ источникомъ образованія ключей и грунтовыхъ водъ, такъ какъ конденсаціи внѣшней атмосферы гораздо обильнѣе конденсацій въ подземной атмосферѣ. Эти конденсаціи достигаютъ почвы въ тѣмъ болѣе чистомъ видѣ, чѣмъ чище былъ воздухъ, изъ котораго она конденсировалась. Въ самую почву, если она проницаема, эти воды проникаютъ, какъ мы это видѣли выше (отд. I), тѣмъ быстрѣе, чѣмъ больше въ ней находится некапиллярныхъ промежутковъ, и обратно. Онѣ проникаютъ до той глубины, на которой онѣ встрѣчаютъ горизонтъ грунтовыхъ водъ или непроницаемый слой почвы, и затѣмъ онѣ гдѣ-нибудь, даже и въ морѣ, опять выступаютъ на дневную поверхность въ видѣ ключей. Между мѣстомъ вступленія въ почву и мѣстомъ обратнаго выхода изъ нея на дневную поверхность, вода заимствуетъ отъ проходимыхъ ею породъ различныя растворимыя составныя части, которыми обусловливается главный характеръ воды. Съ другой-же стороны вода оставляетъ въ покрывающей почву растительности и въ самой почвѣ часть механическихъ и химическихъ примѣсей, заимствованныхъ ею изъ воздуха: путемъ фильтраціи т. е. задерживанія всѣхъ тѣхъ взвѣшенныхъ частицъ, которыя по своимъ размѣрамъ больше, нежели скважины въ водопроницаемой породѣ; путемъ поглощенія, т. е. извлеченія отдѣльныхъ примѣсей для питанія растеній и пр., и путемъ окисленія, т. е. постепеннаго превращенія органическихъ веществъ въ азотную кислоту, какъ конечный продуктъ окисленія.

Всѣ эти процессы происходятъ тѣмъ интенсивнѣе, чѣмъ меньше поры, черезъ которыя вода можетъ проникать въ почву, и чѣмъ больше времени вода остается въ почвѣ, или чѣмъ длиннѣе путь, требуемый водой для просачиванія черезъ породу и достиженія непроницаемыхъ слоевъ или горизонта грунтовыхъ водъ.

Такимъ образомъ вообще чѣмъ глубже подъ поверхностью земли расположенъ горизонтъ грунтовыхъ водъ тѣмъ энергичнѣе при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ органическія вещества уничтожаются или измѣняются въ водѣ, и обратно. Если-же почва изрѣзана некапиллярными промежутками, какъ напр. это имѣетъ мѣсто въ трещиноватомъ песчаникѣ, юрѣ, раковистомъ известнякѣ и проч., то указанное явленіе происходитъ только частью, а именно только въ капиллярныхъ промежуткахъ породы, по некапиллярнымъ же промежуткамъ вода очень быстро просачивается вглубь. Такъ напр. многіе выступающіе изъ пестрыхъ песчанниковъ въ Шварцвальдѣ и Вогезахъ прекрасные на видъ ключи большей частью содержатъ въ себѣ весьма много органическихъ веществъ, несмотря на то, что они происходятъ отъ конденсацій изъ совершенно чистаго воздуха, и проходимый водой путь отъ поверхности почвы до горизонта грунтовыхъ водъ часто составляетъ 100 метр, и болѣе; они получаютъ органическія вещества изъ растительности и поверхностнаго слоя почвы, отъ котораго сильными дождями отрываются и увлекаются въ щели значительныя массы мате-

ріала. Эти ключи окажутся негодными, если ихъ инфильтраціонная область будетъ сильно населена людьми или занята растительными культурами.

Наоборотъ въ наносахъ рѣчныхъ долинъ въ такихъ мѣстахъ въ которыхъ уровень грунтовыхъ водъ расположенъ только на нѣсколько метровъ подъ поверхностью почвы, даже и въ тѣхъ случахъ, когда поверхность почвы болѣе или менѣе сильно культивирована, содержаніе органическихъ веществъ въ грунтовыхъ водахъ бываетъ гораздо меньше; чѣмъ мелкозернистѣе наносъ, тѣмъ меньше содержаніе органическихъ веществъ и тѣмъ энергичнѣе происходятъ въ почвѣ процессы, превращающіе органическія вещества въ азотную кислоту.

Такимъ образомъ свойство водоноснаго слоя въ смыслѣ существованія или отсутствія въ немъ большихъ или малыхъ скважинъ имѣетъ весьма важное значеніе для гигіеническихъ качествъ получаемой изъ него воды.

Ключевыя воды съ древнихъ временъ и по настоящее время большей частью представляются наиболѣе желательными для водоснабженія населенныхъ мѣстъ; превосходство этихъ водъ для цѣлей водоснабженія было сознано гораздо раньше, нежели люди ознакомились съ химическими анализами и бактеріологіей. При этомъ необходимо замѣтить, что во всѣ времена дѣлали различіе между хорошими и дурными ключами. Въ то время какъ прежде ключевой водой снабжались только тщательно оберегаемые колодцы, и вообще съ ней обращались очень бережно, въ настоящее время для самыхъ скромныхъ жилищъ, также какъ и для роскошныхъ дворцовъ, требуется неограниченная ни временемъ ни количествомъ доставка воды. Такимъ образомъ рядомъ съ оставшимися попрежнему требованіями относительно качества воды, въ настоящее время появилась значительно превышающая прежнюю количественная потребность въ водѣ, и хотя техника напрягаетъ всѣ усилія для удовлетворенія этихъ потребностей, но эта цѣль только въ весьма ограниченномъ числѣ случаевъ можетъ быть достигнута доставленіемъ вполнѣ безупречной грунтовой или ключевой воды. Для обыкновеннаго домашняго обихода и для питья, напр., вполнѣ достаточно 20—30 литр. на человѣка въ день, между тѣмъ какъ существуютъ водопроводы съ ключевой водой, которые должны доставлять въ 10 разъ больше.

Такъ какъ обиліе грунтовыхъ и ключевыхъ водъ главнымъ образомъ обусловливается атмосферными осадками, и въ каждой данной мѣстности при всякомъ качествѣ породы можно приблизительно узнать, какое количество воды изъ всѣхъ, приходящихся на опредѣленную поверхность, инфильтраціи остается въ почвѣ, или какое количество воды сохраняется почвой въ качествѣ подпочвеннаго резервуара, то опытному и свѣдущему инженеру вполнѣ возможно опредѣлить, можетъ-ли быть снабжена данная мѣстность опредѣленными количествами ключевой воды изъ опредѣленной области. Исходныя точки для подобнаго опредѣленія даются геогнозіей и гидрографіей, (ср. отд. I). Техническими пробными работами индуктивнаго свойства или измѣреніями въ теченіе долгаго времени вѣроятность относительно количества воды обращается въ достовѣрность.

Буровыя скважины, пробные колодцы, разрѣзы почвы здѣсь цѣлесообразны; гигіеническое испытаніе въ связи въ происхожденіемъ воды рѣшаетъ вопросъ, удовлетворительно ли качество воды.

Если-же не удается добыть все требуемое количество воды изъ ключей или изъ грунта или если при существованіи этой возможности выполненіе подобной работы связано съ такими затратами, что изъ экономическихъ видовъ приходится отказаться отъ подобнаго водоснабженія, то обыкновенно берутъ воду изъ открытыхъ водоемовъ; изъ рѣкъ и прудовъ.

Но эти открытые водоемы употребляются также для спуска въ нихъ различнаго рода нечистотъ; при продолжительныхъ дождяхъ вода въ нихъ дѣлается мутной; лѣтомъ въ жаркое сухое время они даютъ теплую воду, зимой частью вымерзаютъ, и вообще имѣютъ такія свойства, которыя весьма нежелательны въ водѣ, идущей для употребленія людьми.

Поэтому при водоснабженіяхъ, основанныхъ на полученіи воды изъ подобныхъ источниковъ, безусловно необходимо принять мѣры къ уничтоженію или устраненію вреда отъ упомянутыхъ свойствъ. Не смотря на громадные успѣхи техники, всѣ извѣстныя въ этомъ отношеніи вспомогательныя средства оказываются не вполнѣ удовлетворительными. Поэтому

водоснабженіе изъ загрязненныхъ рѣкъ по временамъ сопряжено съ опасностью для здоровья.

Выше (отд. I) мы видѣли, что открытые водоемы и ключи часто находятся между собой въ неразрывной связи. Въ особенности большіе ключи въ низменностяхъ часто находятся въ связи съ водой, просачивающейся изъ рѣкъ. При этомъ впередъ трудно опредѣлить, достаточна ли въ подобныхъ случаяхъ мощность водоноснаго слоя, проводящаго эти массы воды, для уничтоженія вредныхъ ея примѣсей преимущественно, всѣхъ патогенныхъ микроорганизмовъ. То же самое можно сказать и о грунтовыхъ потокахъ не выступающихъ на дневную поверхность и получающихъ подобнаго рода притоки рѣчной воды.

Такимъ образомъ безвредность воды не опредѣляется однимъ только внѣшнимъ характеромъ мѣста ея добыванія. Нельзя категорически сказать, что наилучшая вода, предпочитаемая предъ всѣми другими, доставляется ключами; за ней слѣдуютъ грунтовыя воды, а затѣмъ уже, при неимѣніи другихъ способовъ добыванія воды, идетъ рѣчная и озерная вода. Есть множество ключей съ вредной для здоровья водой; въ Индіи, напр., англійское правительство было вынуждено во многихъ мѣстахъ снабжать подобные ключи предохранительными досками для отличія ихъ отъ другихъ сосѣднихъ здоровыхъ ключей. Такія же условія существуютъ и по отношенію къ грунтовымъ водамъ: почти во всѣхъ старыхъ городахъ остерегаются брать воду изъ извѣстныхъ колодцевъ. Съ другой стороны нельзя отрицать, что существуетъ много водоснабженій, дающихъ вполнѣ здоровую воду: изъ сборныхъ прудовъ, озеръ и рѣкъ.

Такимъ образомъ спеціальное изслѣдованіе воды представляетъ собой единственный вѣрный способъ для правильнаго оріентированія относительно годности данной воды для питья въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Существовавшія раньше предубѣжденія въ настоящее время больше не должны имѣть мѣста [1]).

Нельзя, конечно, отрицать, и мы вовсе немѣемъ въ виду оспаривать, тотъ фактъ, что свѣжая и хорошая по своему происхожденію ключевая и грунтовая вода въ большинствѣ случаевъ гораздо пріятнѣе для питья, нежели вода изъ озеръ, искусственныхъ водоемовъ (прудовъ), или фильтрованная рѣчная вода, или, наконецъ, дестиллированная морская вода Мы только обращаемъ вниманіе на то обстоятельство, что и эта вода, надлежащимъ образомъ подготовленная, можетъ быть такой же здоровой а, слѣд., можетъ быть употреблена для водоснабженія населенныхъ мѣстъ. Такимъ образомъ, если бываютъ вынуждены къ устройству подобнаго водоснабженія, то въ санитарномъ отношеніи здѣсь никакой бѣды нѣтъ: во всякомъ случаѣ обильное снабженіе подобной водой предпочтительно предъ недостаточнымъ или скуднымъ снабженіемъ ключевой водой.

Изслѣдованіе воды, какъ замѣчено выше, должно быть химическое и бактеріологическое. Само собой разумѣется, что изслѣдованіе воды должно быть произведено свѣдущими лицами, которыя должны высказаться, годится ли изслѣдованная вода для питья или нѣтъ.

Замѣтимъ здѣсь кстати, что при бактеріологическихъ изслѣдованіяхъ, какъ раньше и при химическихъ, замѣчается нѣкоторая наклонность къ обобщенію, преимущественно въ Германіи. Точно такъ же, какъ раньше приводились извѣстныя предѣльныя числа относи-

---

[1]) Считаемъ нелишнимъ припомнить здѣсь принятую въ 1874 г. въ Данцигѣ резолюцію, гласящую: „для устройства водоснабженій на первомъ планѣ слѣдуетъ имѣть въ виду естественно или искусственно открытые ключи, и нельзя допустить употребленіе менѣе доброкачественной воды раньше, пока не будетъ доказана невозможность устройства водоснабженія ключевой водой (Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspfl. т. VII, тетрадь I).

тельно химическаго состава воды, въ настоящее стараются назначить подобныя предѣльныя числа для допускаемаго числа бактерій, содержащихся въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ воды. Но подобнымъ попыткамъ не слѣдуетъ придавать никакого значенія; дѣйствительно, почему бы, считая возможнымъ допустить содержаніе напр. 300 бактерій въ 1 куб. сантиметрѣ, отказаться отъ воды съ содержаніемъ 301 бактеріи на 1 куб. сантиметръ? Главная цѣль бактеріологическихъ изслѣдованій состоитъ въ томъ, чтобы прежде всего опредѣлить, вредны ли содержащіяся въ водѣ бактеріи или нѣтъ, а затѣмъ можетъ ли вредное вліяніе бактерій впослѣдствіи быть уничтожено мѣстными условіями или какими либо техническими способами. Мы вернемся еще къ этому предмету при разсмотрѣніи различныхъ способовъ водоснабженій.

Если затѣмъ тщательными изслѣдованіями дознано, что вода въ естественномъ видѣ или искусственно улучшенная можетъ быть употреблена въ качествѣ питьевой воды, то обозначенія: ключевая вода, грунтовая вода, фильтрованная рѣчная вода, озерная вода, дестиллированная морская вода и проч., являются уже совершенно побочными. Всѣ обозначенныя такимъ образомъ воды могутъ выдерживать испытанія или нѣтъ и доставлять хорошую или дурную питьевую воду. Поэтому сооруженія для добыванія воды не должны ограничиться только обдѣлкой ключей и сборомъ грунтовыхъ водъ, а должны служить для полученія всѣхъ водъ до морской включительно. Непримѣнимой считается только та вода, которая найдена вредной для здоровья.

Въ гл. 1 будетъ разсмотрѣнъ простѣйшій способъ полученія воды, а именно сборъ дождевой воды въ чанахъ и цистернахъ.

Въ гл. 2 будутъ разсмотрѣны пруды и вообще водохранилища. Чѣмъ больше воды требуется при обыкновенныхъ качествахъ ея, тѣмъ большее значеніе имѣютъ эти способы сбора весьма большихъ количествъ воды.

Въ гл. 3 разсматривается подражаніе естественнымъ ключамъ. Послѣ подробнаго ознакомленія (отд. I) съ условіями образованія ключей, въ случаяхъ отсутствія нѣкоторыхъ изъ этихъ условій не трудно будетъ содѣйствовать ихъ замѣнѣ искусственными способами. Подводомъ воды можно искусственно создать недостаточную почвенную инфильтрацію, продуктъ которой можетъ быть полученъ въ видѣ грунтовой воды, или же помощью подземныхъ запрудъ можно искусственно создать подпочвенный резервуаръ, опоражниваніе котораго можетъ быть произвольно продолжено.

Гл. 4 посвящена добыванію воды изъ рѣкъ и озеръ и обдѣлкѣ выступающихъ на дневную поверхность ключей. Здѣсь разсматривается; вліяніе областей осадковъ на рѣки и озера и на полученіе воды изъ нихъ, т. е. указываются наиболѣе благопріятныя мѣста полученія воды, а также и указывается тотъ путь, по которому слѣдуетъ идти при обдѣлкѣ выступающихъ на дневную поверхность ключей. При разсмотрѣніи послѣдняго вопроса приняты во вниманіе также и существующіе виды на будущее увеличеніе количествъ воды въ отдѣльныхъ случаяхъ и приводятся также тѣ ошибки, которыя имѣютъ послѣдствіемъ уменьшеніе количества получаемой воды.

Искусственное улучшеніе качествъ воды разсматривается въ гл. 5. Здѣсь, конечно, могутъ быть подробно разсмотрѣны только примѣняемые въ крупныхъ размѣрахъ способы отстаиванія и фильтрованія воды. При этомъ здѣсь также упоминается объ устраненіи изъ воды желѣза, о перегонкѣ или дестилляціи морской воды, а также о стерилизаціи воды путемъ кипяченія.

Въ гл. 6 разсматриваются предварительныя работы по сбору скрытыхъ водяныхъ потоковъ. Здѣсь приводятся указанія для практическихъ испытаній и

для пользованія ими съ цѣлью опредѣленія количества воды, предоставляемой въ наше распоряженіе извѣстной областью, на основаніи приводимыхъ ниже (см. стр. IV) теоретическихъ соображеній о движеніи грунтовыхъ водъ въ пескахъ а также на основаніи изложенныхъ въ отд. I свѣдѣній.

Въ тѣсной связи съ этимъ стоятъ разсматриваемыя въ гл. 7 и 8 сооруженія для сбора грунтовыхъ водъ. Гл. 7 разсматриваетъ вертикальные колодцы, абиссинскіе колодцы, буровые колодцы, каменные колодцы, со сплошными и проницаемыми стѣнками, а также и такъ называемые артезіанскіе колодцы. Гл. 8 разсматриваетъ сборъ грунтовыхъ водъ помощью открытыхъ рвовъ, дренажей, сборныхъ трубъ, сборныхъ каналовъ и штоленъ.

Въ гл. 9 разсматриваются сооруженія, представляющія собой комбинаціи принципіально различныхъ системъ водосборовъ. На первомъ планѣ является соединеніе многихъ отдѣльныхъ сборныхъ сооруженій въ одинъ общій резервуаръ, затѣмъ комбинація глубокихъ и высокорасположенныхъ ключей (искусственное поднятіе воды и проводъ ея подъ естественнымъ напоромъ).

Наконецъ, въ гл. 10 разсматриваются наиболѣе цѣлесообразныя мѣста сборовъ при наличности свободы выбора. Здѣсь разсматриваются вопросы о томъ, представляетъ ли данное мѣсто добыванія воды достаточно гарантій относительно постоянства и соотвѣтствія его дальнѣйшимъ потребностямъ, будучи при этомъ наиболѣе выгодной въ экономическомъ отношеніи, какъ въ смыслѣ эксплоатаціонныхъ расходовъ такъ и въ смыслѣ расходовъ на проценты и на погашеніе затраченнаго капитала.

Не согласовалось бы съ цѣлью этой книги здѣсь разсматривать одни только крупныя сооруженія; болѣе всего слѣдуетъ удѣлить вниманія небольшимъ сооруженіямъ, такъ какъ большинство подлежащихъ разрѣшенію вопросовъ, относящихся къ водопроводамъ, принадлежитъ именно къ этой категоріи. Правильная, сообразно съ требованіемъ времени, разработка проектовъ небольшихъ водоснабженій большей частью сопряжена съ тѣми же трудностями, какъ и разработка проектовъ крупныхъ сооруженій; послѣднія имѣютъ только то преимущество, что рѣшеніе задачи болѣе прибыльно для инженера, что, конечно, для насъ не имѣетъ никакого значенія. Между тѣмъ даже при весьма крупныхъ сооруженіяхъ часто бываетъ необходимо удовлетворить потребности помощью соотвѣтственнаго числа небольшихъ и даже очень малыхъ сооруженій. Поэтому при приведеніи примѣровъ мы всегда начинаемъ съ самыхъ незначительныхъ сооруженій.

Что касается потребности въ водѣ при данныхъ мѣстныхъ условіяхъ, то намъ, вѣроятно, замѣтятъ, что мы не посвятили мѣста этому вопросу въ настоящемъ отдѣлѣ. Намъ кажется цѣлесообразнѣе здѣсь предполагать цифры потребности въ водѣ извѣстными и разсмотрѣть ихъ подробнѣе въ слѣдующемъ отдѣлѣ III, гдѣ будемъ разсматривать проводъ и распредѣленіе воды, такъ какъ именно съ тѣмъ отдѣломъ этотъ вопросъ имѣетъ наибольшую внутреннюю связь. Здѣсь можемъ только замѣтить, что въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ полученіе хорошей питьевой воды въ такихъ большихъ количествахъ, какія употребляются въ современныхъ водоснабженіяхъ, вызываетъ значительныя техническія и финансовыя затрудненія, будетъ весьма умѣстно раздѣленіе водоснабженія на двѣ части съ двумя отдѣльными сѣтями трубъ.

Приведенный нами въ началѣ взглядъ, что постоянное водоснабженіе должно представлять собой идеалъ въ подобномъ рѣшеніи вопроса, не встрѣчаетъ никакихъ противорѣчій,

оставаясь въ своей силѣ. Тѣмъ не менѣе достиженіе этого идеала водоснабженія иногда влечетъ за собой несоразмѣрно значительное обремененіе жителей, а потому является невозможнымъ. Въ этихъ случаяхъ мы имѣемъ право сказать: для промывки каналовъ, поливки улицъ, приведенія въ движеніе моторовъ, для большихъ фонтановъ, для орошенія огородовъ и полей и т. п. потребностей нѣтъ необходимости тратить хорошую питьевую воду. Если для подобныхъ надобностей, какъ это часто и бываетъ, идетъ 60% и болѣе общаго расхода воды, доставленіе которой въ видѣ питьевой воды сопряжено съ большими расходами, то раздѣленіе водоснабженія—хорошая питьевая вода для домашняго употребленія, а болѣе низкаго достоинства для другихъ цѣлей—представитъ собой самое правильное рѣшеніе вопроса.

Успѣхамъ, достигнутымъ въ области добыванія воды въ теченіи послѣднихъ десятковъ лѣтъ, можно приписать большую часть плодотворной дѣятельности различныхъ государствъ на поприщѣ народнаго здравія.

Множество весьма раціональныхъ сооруженій, хорошо обдуманныхъ предварительныхъ работъ и детальныхъ разработокъ въ настоящее время не обнародовано во всеобщее свѣдѣніе, такъ какъ не всякій имѣетъ желаніе или бываетъ въ состояніи обнародовать свои работы; тѣмъ не менѣе по этому предмету существуетъ обширная литература, представляющая современное состояніе этой весьма важной отрасли техническаго знанія.

1. Сборъ дождевой воды помощью бочекъ и цистернъ.

Общій обзоръ. Простѣйшій и наиболѣе повсемѣстно примѣнимый способъ добыванія воды состоитъ въ собираніи дождевой воды. Обыкновенно съ крышъ, дворовъ или другихъ ограниченныхъ поверхностей воду спускаютъ въ открытые сосуды или закрытыя вмѣстилища, гдѣ она сохраняется для употребленія.

Въ нашемъ климатѣ вмѣсто закрытыхъ вмѣстилищъ большей частью употребляются обыкновенныя дождевыя бочки даже и въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ существуетъ вполнѣ организованное водоснабженіе. Скопляемая въ этихъ бочкахъ дождевая вода предназначается не столько для питья, сколько для стирки, для которой она преимущественно и употребляется. На описаніи конструкціи подобныхъ дождевыхъ бочекъ, ничѣмъ не отличающихся отъ обыкновенныхъ винныхъ бочекъ, мы можемъ здѣсь не останавливаться.

Болѣе важное значеніе имѣютъ большія открытыя и закрытыя вмѣстилища, извѣстныя подъ названіемъ цистернъ. Въ странахъ жаркаго пояса цистерны, съ незапамятныхъ временъ, служатъ наиболѣе распространеннымъ видомъ водоснабженія. Еще въ настоящее время остатки большихъ цистернъ въ Палестинѣ (со времени царя Соломона) и Карѳагенѣ, употребляемые теперь въ Тунисѣ, вызываютъ наше удивленіе. Многіе индійскіе города, а также и Константинополь, Аденъ, Александрія, Венеція, Зара и проч. обладаютъ громадными цистернами, которыя примѣняются уже съ давнихъ временъ, а въ Карстской области вдоль Адріатическаго моря цистерны во многихъ случаяхъ и въ настоящее время служатъ единственнымъ видомъ водоснабженія.

Въ странахъ съ жаркимъ климатомъ большія цистерны часто употребляются для пріема воды изъ перемежающихся или сильно измѣняющихъ свою производительность ключей, которые чаще всего встрѣчаются какъ разъ тамъ, гдѣ длинные періоды дождей смѣняются продолжительными періодами засухъ. Подобные ключи питаютъ Іерусалимскій водопроводъ, и именно акведукъ и колодецъ Соломона [1]); цистерны частью устроены въ скалахъ и частью сложены изъ камня и лежатъ по направленію Геврона въ 11 километрахъ отъ Іерусалима и приблизительно въ 4 километрахъ отъ Виѳлеема на склонѣ ряда холмовъ. Самый верхній изъ этихъ

[1]) Lumley, H. Betrachtungen und Briefe zur Förderung des Baues einer Wasserleitung für Jerusalem. 1873.

бассейновъ лежитъ значительно выше самой высшей точки Іерусалима. Размѣры отдѣльныхъ сооруженій слѣдующіе: самая нижняя цистерна имѣетъ длину 175, ширину 60 и глубину 15 метр.; средній бассейнъ имѣетъ длину 125 метр., шир. 75 метр. и глуб. 12 метр.; верхній имѣетъ длину 110 метр., шир. 70 метр. и глуб. 8 метр. Въ исправномъ состояніи всѣ эти три цистерны, изъ которыхъ вторая и третья подымаются въ видѣ террасъ надъ первой, могутъ вмѣстить въ себѣ въ круглыхъ числахъ 300.000 куб. метровъ или 24.400.000 ведеръ воды.

Вообще цистерны служатъ или исключительно для скопленія поступающей въ нихъ дождевой воды, или же съ ними связываютъ еще фильтрованіе воды. Если вода должна служить для питья, то сооруженія перваго рода должны быть въ состояніи путемъ отстаиванія освободить воду отъ случайныхъ къ ней примѣсей, послѣ чего уже вода очищается въ цистернахъ съ приспособленіями для фильтрованія [1]).

Застаиваніе, которому вода подвергается въ цистернахъ, далеко невыгодно отражается на качествахъ воды. Помимо этого неудобства вода изъ правильно построенныхъ, хорошо содержимыхъ и защищенныхъ отъ внѣшнихъ вліяній цистернъ должна считаться вполнѣ годной къ употребленію; она, правда, не имѣетъ пріятнаго вкуса ключевой или колодезной воды, но жители тѣхъ мѣстностей, которые вынуждены исключительно пользоваться водой изъ цистернъ, находятся въ совершенно нормальныхъ условіяхъ относительно здоровья.

Тѣмъ не менѣе, цистерны требуютъ большой осторожности и тщательности, какъ по отношенію къ устройству, такъ и относительно ихъ примѣненія и содержанія. При сооруженіи цистернъ прежде всего необходимо обратить вниманіе на то, чтобы онѣ по возможности были бы предохранены отъ дѣйствія теплоты и свѣта, такъ какъ въ противномъ случаѣ въ водѣ развивается флора и фауна. Затѣмъ необходимо удалять первыя массы дождевой воды, которыя обыкновенно сильно загрязнены и заключаютъ въ себѣ различнаго рода организмы, весьма вредные для здоровья. Въ случаѣ надобности можно дождевую воду до поступленія ея въ цистерну пропускать черезъ открытый отстойный бассейнъ, или предварительный фильтръ, задерживающій наиболѣе крупныя нечистоты. Необходимый при каждой цистернѣ водосливъ не долженъ находиться въ непосредственномъ сообщеніи съ какимъ-либо сточнымъ каналомъ для спуска нечистотъ, съ цѣлью воспрепятствованія попаданію вредныхъ газовъ и проч. изъ канала въ цистерну. Что же касается конструкціи цистернъ, то само собой разумѣется, что стѣны и дно цистерны должны быть безусловно водонепроницаемы для предупрежденія всякаго сообщенія воды въ цистернѣ съ подпочвой. Въ случаѣ примѣненія фильтрованія для этой цѣли употребляется исключительно только чистый песокъ; всякіе другіе способы фильтрованія, какъ напр., черезъ уголь, губки, шерсть, мохъ, опилки, холстъ, пористыя плиты (напр., пемзы и проч.), какъ показали опыты, не только недолговѣчны, но также и вредны въ гигіеническомъ отношеніи.

Если пріемная труба сама не снабжена искусственнымъ фильтромъ, какъ это часто практикуется въ Америкѣ, то она должна быть помѣщена въ цистернѣ такимъ образомъ, чтобы забирный конецъ ея, или мѣсто всасыванія, былъ расположенъ по срединѣ между дномъ цистерны и поверхностью воды или, по меньшей мѣрѣ, на 0,5 метр. выше дна цистерны; только при подобномъ

[1]) Бешманъ въ доказательство хорошаго сохраненія воды въ цистернахъ приводитъ тотъ фактъ, что открытое нѣсколько лѣтъ тому назадъ въ Алжирѣ подобное сооруженіе, въ которомъ вода хранилась нѣсколько столѣтій, давало еще пріятную питьевую воду (см. Bechmann G. Distribution d'eau, assainissement. Paris, 1889).

расположеніи трубы въ нее не могутъ попасть ни осадки со дна цистерны, ни плавающая на поверхности воды грязь. При высотѣ воды въ цистернѣ менѣе 1 метра воду изъ нея брать больше не слѣдуетъ. Наконецъ, необходимо обратить вниманіе на то, чтобы цистерна была легко доступна, для избѣжанія затрудненія при ея чисткѣ.

Чистка цистерны должна производиться, по меньшей мѣрѣ разъ, а еще лучше два раза въ годъ; отъ чистоты цистерны главнымъ образомъ зависитъ годность воды для употребленія. Точно также необходимо содержать въ чистотѣ поверхности для пріема дождевыхъ водъ, съ цѣлью предупрежденія попаданія въ воду всякихъ животныхъ и растительныхъ организмовъ.

Существующія, вообще, предубѣжденія противъ дождевой воды изъ цистернъ основаны на дурныхъ результатахъ, полученныхъ отъ плохо выполненныхъ сооруженій, очистка которыхъ при этомъ своевременно не была произведена. Само собой разумѣется, что качества воды изъ цистернъ будутъ тѣмъ лучше, чѣмъ больше расходъ воды изъ нихъ или соотвѣтственно чѣмъ чаще обновляется содержимое цистернъ. Такимъ образомъ хорошая цистерна никогда не должна содержать излишнихъ запасовъ воды. Принимая во вниманіе это обстоятельство, можно довольно точно опредѣлить наименьшую емкость каждой цистерны по метеорологическимъ и климатическимъ условіямъ въ связи съ нормальной потребностью въ водѣ, при чемъ эта наименьшая емкость будетъ соотвѣтствовать и наименьшей первоначальной стоимости цистерны, и это представитъ собой самый раціональный способъ рѣшенія вопроса.

Разрѣшеніе вопроса о величинѣ цистерны или опредѣленіе ея емкости прежде всего совершенно не зависитъ отъ вида цистерны. Главнымъ образомъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, примѣняется-ли цистерна только во время засухи, наполняясь во время дождя, или же она должна доставлять воду въ теченіи цѣлаго года.

Въ первомъ случаѣ водопріемной поверхности придаются по возможности большіе размѣры. Цистерна должна быть въ состояніи предварительно вмѣстить въ себя опредѣленное количество воды, которая должна уже находиться въ цистернѣ по наступленіи засухи; до наступленія же засухи вода изъ цистерны не расходуется. Если черезъ h обозначимъ общую высоту дождя въ метр. за все время, употребляемое для питанія цистерны, черезъ F—водопріемную поверхность въ квадр. метр. и черезъ Q—количество потребной воды или полезную емкость цистерны, въ кубическихъ метрахъ, то между этими величинами существуетъ зависимость:

$$1)\quad Q = \mu F h,$$

при чемъ для климатовъ, подобныхъ нашему среднему климату, коэффиціентъ μ можетъ быть принятъ 0,50—0,70. Чѣмъ сильнѣе испареніе и всѣ другія потери, тѣмъ меньше будетъ величина μ, а слѣд. тѣмъ больше получится F для данной величины Q; впрочемъ мы еще вернемся къ этому предмету ниже.

Во второмъ случаѣ, при употребляемой въ теченіе круглаго года цистернѣ емкость ея служитъ для уравненія прихода и расхода, и величина ея будетъ вполнѣ достаточна, если будетъ опредѣлена по весьма сухому году и по нормальному расходу. Изъ ур. 1), если принять μ=0,7, причемъ h обозначаетъ высоту дождя въ теченіи года и Q—годовой расходъ воды, наименьшая потребная водопріемная поверхность будетъ:

$$2)\quad F = \frac{Q}{0{,}7\,h}$$

Достаточность или недостаточность этой величины водопріемной поверхности зависитъ отъ распредѣленія дождей и расхода воды въ теченіи извѣстныхъ промежут-

ковъ времени Если между высотой осадковъ и расходомъ не существуетъ никакой параллельной связи, то опредѣленная по ур. 2) водопріемная поверхность оказывается недостаточной, какъ это наиболѣе часто и бываетъ:

Если обозначимъ:
черезъ q_1—полезное для цистерны количество дождя съ начала года до конца Января,
„ q_2—тоже до конца Февраля,
„ q_3—тоже до конца Марта
и т. д.
„ $Q=q_{12}$ полезное для цистерны количество дождя съ начала года до конца Декабря,
затѣмъ:
v_1—общій расходъ изъ цистерны съ начала года до конца Января,
v_2—тоже до конца Февраля,
v_3—тоже до конца Марта,
. . . . . .
v_{12}—тоже до конца Декабря,
то каждая изъ величинъ, изображающихъ собой имѣющіеся еще въ распоряженіи объемы воды въ цистернѣ, а именно:

q_1-v_1, q_2-v_2 q_3-v_3 . . . . . $q_{12}-v_{12}$

должна имѣть *положительный знакъ.*

Если-же это не имѣетъ мѣста, напр. если $q_n-v_n=-a$, то опредѣляемая изъ ур. 2) водопріемная поверхность должна быть умножена на нѣкоторый коэффиціентъ $m > 1+\frac{a}{q_n}$ для того, чтобы временами не обнаруживался бы недостатокъ воды, т. е. чтобы цистерна не оказывалась бы временами пустой. При $m=1+\frac{a}{q_n}$ цистерна въ концѣ n-аго мѣсяца оказалась бы пустой, такъ что это значеніе представляетъ собой предѣльное значеніе величины m.

Если впередъ задаютъ условіе, чтобы втеченіе года содержаніе воды въ цистернѣ не было-бы меньше опредѣленнаго количества V (такъ называемаго отстоя), то это общее значеніе m выразится уравненіемъ.

$$3)\ m=1+\frac{a+V}{q_n}.$$

Та изъ разностей q_1-v_1, q_2-v_2, q_3-v_3 . . . . . $q_{12}-v_{12}$, которая принимаетъ наибольшее численное значеніе, опредѣляетъ собой наименьшій потребный объемъ воды въ пистернѣ. Если послѣдній выбранъ меньше указанной величины, то осадки даже сухого года, не говоря уже объ осадкахъ другихъ годовъ, никогда не могутъ скопляться въ цистернѣ.

Разъяснимъ это примѣромъ. Предположимъ, что требуется построить цистерну для годоваго расхода въ 2880 куб. метр. Высоты осадковъ въ теченіе наиболѣе сухого года были:

Въ Январѣ	42 милл.	Апрѣлѣ	33 милл.	Іюлѣ	60 милл.	Октябрѣ	24 милл.
„ Февралѣ	33	Маѣ	63	Августѣ	36	Ноябрѣ	60
„ Мартѣ	60	Іюнѣ	51	Сентябрѣ	30	Декабрѣ	60

Тогда получаемъ:

$h = 0{,}042+0{,}033+0{,}060+0{,}033+0{,}063+0{,}051+0{,}060+0{,}036+0{,}030+0{,}024+0{,}060+0{,}060 = 0{,}552$ метровъ и

$$F=\frac{2880}{0{,}7+0{,}552}=7453 \text{ кв. метр.}$$

Пусть затѣмъ расходъ составляетъ:

Въ Январѣ, Февралѣ и Мартѣ ежемѣсячно 120 куб. метр.
„ Апрѣлѣ, Маѣ и Іюнѣ „ 300 „ „
„ Іюлѣ, Августѣ и Сентябрѣ „ 300 „ „
„ Октябрѣ, Ноябрѣ и Декабрѣ „ 240 „ „

тогда получимъ.

Мѣсяцъ.	Притокъ до конца.	Расходъ до конца	Запасъ въ концѣ.
Январь.	$q_1 = 0{,}7.7453.\ 0{,}042 = 212{,}118$	$v_1 = 120{,}000$	$q_1 - v_1 = + 92{,}118$
Февраль	$q_2 = 0{,}7.7453.\ 0{,}075 = 391{,}282$	$v_2 = 230{,}000$	$q_2 - v_2 = 151{,}282$
Мартъ	$q_3 = 0{,}7.7453.\ 0{,}135 = 704{,}309$	$v_3 = 360{,}000$	$q_3 - v_3 = 344{,}309$
Апрѣль	$q_4 = 0{,}7.7453.\ 0{,}168 = 876{,}473$	$v_4 = 660{,}000$	$q_4 - v_4 = 216{,}473$
Май	$q_5 = 0{,}7.7453.\ 0{,}231 = 1205{,}150$	$v_5 = 960{,}000$	$q_5 - v_5 = 245{,}150$
Іюнь.	$q_6 = 0{,}7.7453.\ 0{,}282 = 1471{,}222$	$v_6 = 1260{,}000$	$q_6 - v_6 = 211{,}222$
Іюль.	$q_7 = 0{,}7.7453.\ 0{,}342 = 1784{,}248$	$v_7 = 1560{,}000$	$q_7 - v_7 = 224{,}248$
Августъ	$q_8 = 0{,}7.7453.\ 0{,}378 = 1972{,}064$	$v_8 = 1860{,}000$	$q_8 - v_8 = 112{,}064$
Сентябрь	$q_9 = 0{,}7.7453.\ 0{,}408 = 2128{,}5768$	$v_9 = 2160{,}000$	$q_9 - v_9 = - 31{,}423$
Октябрь	$q_{10} = 0{,}7.7453.\ 0{,}432 = 2253{,}787$	$v_{10} = 2400{,}000$	$q_{10} - v_{10} = -146{,}213$
Ноябрь.	$q_{11} = 0{,}7.7453.\ 0{,}492 = 2566{,}813$	$v_{11} = 2640{,}000$	$q_{11} - v_{11} = - 73{,}187$
Декабрь	$q_{12} = 0{,}7.7453.\ 0{,}552 = 2879{,}839$	$v_{12} = 2880{,}000$	$q_{12} - v_{12} = - 0{,}161$

Ввиду существованія отрицательныхъ разностей, изъ которыхъ наибольшую обсолютную величину имѣетъ разность $q_{10} - v_{10} = 146{,}213$, величина F должна быть помножена на $m > 1 + \frac{146{,}213}{2253{,}787}$; такимъ образомъ m должна быть больше 1,065.

Если наименьшее втеченіе года запасное количество воды въ цистернѣ должно составлять 20 куб. метр., то по ур. 3) величина m будетъ.

$$m = 1 + \frac{146{,}213 + 20}{2253{,}787} = 1{,}07375.$$

откуда получаемъ

$$F = 7453.1{,}07375 = 8002 \text{ квадр. метр.}$$

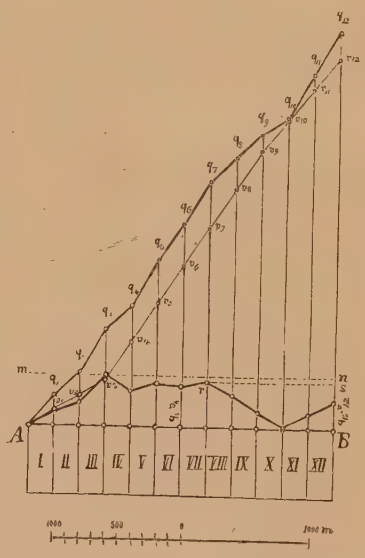
Принимая водопріемную поверхность $F = 8000$ квадратныхъ метровъ ($m = 1{,}0734$), получаемъ:

Мѣсяцъ.	Притокъ до конца.	Расходъ до конца.	Запасъ въ концѣ.
Январь.	$q_1 = 0{,}7.8000.\ 0{,}042 = 235{,}200$	$v_1 = 120$	$q_1 - v_1 = 110{,}20$
Февраль	$q_2 = 0{,}7.8000.\ 0{,}075 = 420{,}000$	$v_2 = 240$	$q_2 - v_2 = 180{,}00$
Мартъ	$q_3 = 0{,}7.8000.\ 0{,}135 = 756{,}000$	$v_3 = 360$	$q_3 - v_3 = 396{,}00$
Апрѣль	$q_4 = 0{,}7.8000.\ 0{,}168 = 940{,}800$	$v_4 = 660$	$q_4 - v_4 = 280{,}80$
Май	$q_5 = 0{,}7.8000.\ 0{,}231 = 1293{,}60$	$v_5 = 960$	$q_5 - v_5 = 333{,}60$
Іюнь.	$q_6 = 0{,}7.8000.\ 0{,}282 = 1579{,}20$	$v_6 = 1260$	$q_6 - v_6 = 319{,}20$
Іюль.	$q_7 = 0{,}7.8000.\ 0{,}342 = 1915{,}20$	$v_7 = 1560$	$q_7 - v_7 = 355{,}20$
Августъ	$q_8 = 0{,}7.8000.\ 0{,}378 = 2116{,}80$	$v_8 = 1860$	$q_8 - v_8 = 256{,}80$
Сентябрь	$q_9 = 0{,}7.8000.\ 0.408 = 2284{,}80$	$v_9 = 2160$	$q_9 - v_9 = 124{,}80$
Октябрь	$q_{10} = 0{,}7.8000.\ 0{,}432 = 2419{,}20$	$v_{10} = 2400$	$q_{10} - v_{10} = 19{,}20$
Ноябрь.	$q_{11} = 0{,}7.8000.\ 0{,}492 = 2755{,}20$	$v_{11} = 2640$	$q_{11} - v_{11} = 115{,}20$
Декабрь	$q_{12} = 0{,}7.8000.\ 0{,}552 = 3091{,}20$	$v_{12} = 2880$	$q_{12} - v_{12} = 211{,}20$

Здѣсь мы видимъ, что разность всегда остается положительной, и наибольшую абсолютную величину имѣетъ разность $q_3—v_3$ Такимъ образомъ общая вмѣстимость цистерны опредѣляется въ 396 куб. метр.

Вычисленныя выше соотношенія могутъ быть изображены графически, какъ на фиг. 34. На оси абсциссъ AB наносятся 12 равныхъ частей, соотвѣтствующихъ 12 мѣсяцамъ года; ординаты q_1 и v_1, q_2 и v_2, q_3 и v_3 и т. д. соотвѣтственно изображаютъ собой притокъ и расходъ цистерны; нанося разности $q_1—v_1$, $q_2—v_2$ и т. д. въ качествѣ ординатъ отъ оси абциссъ, мы получаемъ линію запасовъ въ цистернѣ. Изъ этой линіи мы видимъ, что въ данномъ случаѣ совершенно безразлично, начинается-ли дѣйствіе пустой пистерны съ начала года, или совершенно наполненной съ начала Апрѣля; запасы цистерны съ 1 Апрѣля до конца года остаются одинаковыми. Совсѣмъ иное будетъ, если цистерна, совершенно наполненная, начнетъ работать съ 1 Мая, такъ какъ въ этомъ случаѣ избытки притока надъ расходами съ 1 Мая до 1 Августа совершенно потеряются черезъ водосливъ. Если, наоборотъ, цистерна была бы совершенно наполнена 1 Августа, то, начиная оттуда, линія запаса въ общемъ поднялась бы только на величину вертикальнаго разстоянія между горизонтальными линіями $m\ n$ и $s\ r$, такъ что наименьшій запасъ къ 1 Ноября былъ-бы настолько-же больше. Вообще начало дѣйствія цистерны при совершенномъ ея наполненіи тогда даетъ наименьшее значеніе минимальнаго запаса, когда оно совпадаетъ съ временемъ, соотвѣтствующимъ второй наибольшей ординатѣ линіи запаса; въ данномъ случаѣ это имѣетъ мѣсто съ 1 Августа.

Фиг. 34.



Въ только что приведенномъ вычисленіи необходимой наименьшей вмѣстимости цистерны коэффиціентъ μ, опредѣляющій полезную для питанія цистерны высоту дождя, играетъ весьма важную роль. Мы приняли значеніе этого коэффиціента въ 0,50—0,70; этимъ же самымъ выражается величина потерь дождя, происходящихъ на водопріемной поверхности. Потери происходятъ:

1) отъ испаренія;
2) отъ пропадающихъ количествъ дождя при незначительномъ обиліи отдѣльныхъ дождей
3) отъ впитывающихъ свойствъ водопріемной поверхности и фильтрующей массы; затѣмъ также отъ скважности стѣнокъ цистерны и ихъ неплотностей;
4) отъ непримѣнимости отстоя или соотвѣтственно отъ работъ по чисткѣ.

Поэтому необходимо принять мѣры къ возможному уменьшенію причинъ потерь. Потеря отъ испаренія обыкновенно весьма мала, если только цистерна предохранена отъ теченія вѣтровъ, причемъ эта потеря тѣмъ меньше, чѣмъ меньше недостатокъ насыщенія окружающаго воздуха (см. отд. I), и обратно. Эти потери поэтому достигаютъ своего максимума въ жаркихъ климатахъ, а въ среднихъ климатахъ лѣтомъ. Чѣмъ меньше обиліе отдѣльныхъ дождей, и чѣмъ чаще небольшіе дожди выпадаютъ при значительныхъ недостаткахъ насыщенія наружнаго воздуха, тѣмъ больше будутъ первыя 2 изъ упомянутыхъ потерь.

Противъ первыхъ двухъ изъ приведенныхъ потерь предохраняетъ установка, гдѣ это возможно, цистерны на сѣверной или тѣнистой сторонѣ склона, устройство для каждой свободно стоящей и не защищаемой тѣнью цистерны особой

бесѣдки или будки съ расположенной на сѣверъ дверью, а также и закрываніе крышки надъ горловиной цистерны, по меньшей мѣрѣ, впродолженіе дня.

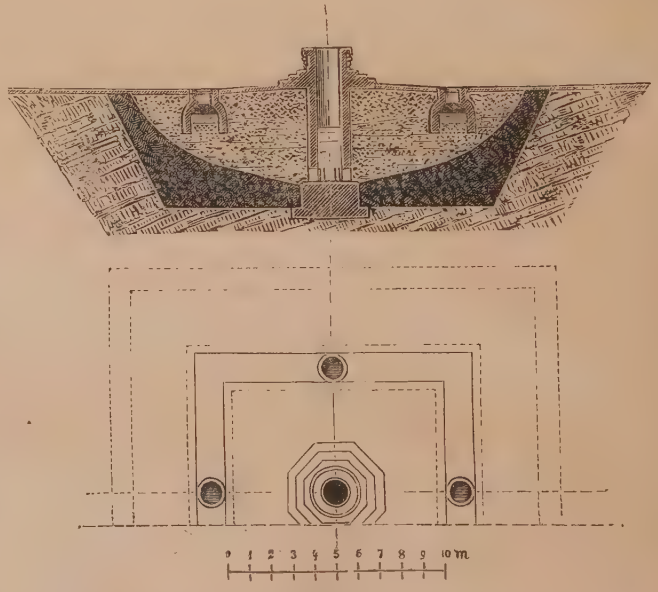
Впитывающія свойства строительнаго матеріала при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ могутъ значительно уменьшить полезныя количества дождя; способность впитыванія возрастаетъ съ уменьщеніемъ степени влажности атмосферы и почвы и съ большей или меньшей пористостью самихъ строительныхъ матеріаловъ, а также и съ величиной омываемыхъ водой поверхностей. Поэтому необходимо обращать вниманіе, чтобы поверхность самой цистерны и фильтрирующаго пространства были по возможности меньще, и чтобы послѣднее было снабжено хорошимъ, гладкимъ уединяющимъ слоемъ (слоемъ чистой штукатурки).

Наконецъ, отстой во всякой цистернѣ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ ближе ея устройство подходитъ къ усѣченной пирамидѣ (или конусу), и обратно; поэтому при устройствѣ цистернъ необходимо стремиться именно къ такой ихъ формѣ. Чистка цистерны требуется тѣмъ рѣже, чѣмъ раціональнѣе устроенъ притокъ воды. Приэтомъ весьма полезными оказываются отстойные бассейны, предварительные фильтры и проч.

Если приняты во вниманіе всѣ эти предварительныя условія, то служащее для питанія цистерны количество дождя рѣдко бываетъ меньше 50—70% дѣйствительно выпавшаго дождя. При надлежащей конструкціи и въ климатѣ съ небольшими недостатками насыщенія воздуха (въ приморскомъ климатѣ) полезное количество дождя обыкновенно бываетъ 70%.

Важное значеніе цистернъ обнаруживается преимущественно въ періоды засухъ, втеченіе которыхъ потребность въ водѣ бываетъ наибольшею. Само собой разумѣется, что въ такіе періоды времени можно допускать не произвольный расходъ воды, а только такой, который соотвѣтствуетъ расходу, принятому при вычисленіи вмѣстимости цистерны. Поэтому на обязанности инженера лежитъ выработка точныхъ правилъ пользованія сооруженіемъ; только при добросовѣстномъ исполненіи этихъ правилъ можно избѣгнуть преждевременнаго опорожненія цистерны и связаннаго съ нимъ недостатка воды.

Фиг. 35.



Въ Венеціи раньше устройства въ ней современнаго водоснабженія, находилось около 200 общественныхъ и 1900 частныхъ цистернъ съ общей вмѣстимостью около 200.000 куб. метр. Устройство подобныхъ цистернъ показано на фиг. 35 и многократно описано различными авторами; всѣ цистерны, построенныя по тому же принципу, хотя и нѣсколько разнящіяся въ деталяхъ, получили названіе „венеціанскихъ цистернъ“.

Дождевая вода съ водопріемной или сборной поверхности черезъ 4 сливныхъ отверстія поступаетъ въ подземные сводчатые каналы, которые построены на песчаномъ фильтрѣ, по-

мѣщенномъ въ бассейнѣ съ водонепроницаемыми стѣнками. Песокъ (морской песокъ отъ дюнъ Адріатическаго моря) заполняетъ весь бассейнъ до устроеннаго въ его срединѣ колодца, занимая всю высоту бассейна до настилки или мостовой на водосборной поверхности. Вода, проникшая черезъ сливныя отверстія въ каналы, сперва поступаетъ на песчаный фильтръ, откуда она уже въ профильтрованномъ видѣ поступаетъ въ колодецъ черезъ щели, сдѣланныя внизу въ боковыхъ его стѣнкахъ. Стѣнки бассейна, въ которомъ помѣщается фильтръ, и въ который поступаетъ дождевая вода, снабжены одеждой изъ хорошо перемѣшанной глины съ 4% песку, отдѣляющей ихъ отъ наружныхъ боковыхъ стѣнъ цистерны. Колодецъ большей частью выступаетъ на 1 метръ выше поверхности земли, и подошва его расположена приблизительно на 4 метра ниже вымощенной водосборной поверхности, образующей какъ показано на ф. 35, верхній конецъ цистерны. Наружная часть этого колодца въ Венеціи часто отдѣлывается весьма изящно и снабжается мраморными ступенями. На фиг. 36 изображенъ эскизъ подобной колодезной отдѣлки, устроенной при большихъ цистернахъ на дворѣ замка дожей. Увлекаемыя дождями нечистоты большей частью при наполненіи колодца осаждаются на подошвахъ сводчатыхъ каналовъ; отстоявшаяся вода занимаетъ свободный объемъ между песчаными зернами, вытѣсняя оттуда воздухъ, и при не слишкомъ быстромъ расходѣ изъ колодца вода въ глубинѣ цистерны постоянно имѣетъ температуру почвы.

Фиг. 36.

Свойство песка весьма медленно выпускать изъ себя воду регулируетъ расходъ воды въ томъ отношеніи, что даже окончательное опорожненіе колодца никогда не влечетъ за собой опорожненія фильтроваго бассейна; въ пескѣ постоянно остаются запасы, постепенно опять заполняющіе колодецъ. Вообще же нормальная производительность цистерны обусловливается величиной водопріемной поверхности и песчанаго резервуара, а также и метеорологическими условіями мѣстности, какъ было указано выше.

Изображенный на фиг. 35 видъ бассейна Венеціанскаго колодца по положенію стѣнъ относительно дна указываетъ на пирамидальную его форму, при которой удовлетворяется вышеприведенное условіе возможно меньшаго количества отстоя. Ясно, что если мѣсто пріема воды слишкомъ близко отъ подошвы шахты или колодца, то при опусканіи бадьи (для черпанія), а также и въ случаѣ выкачиванія воды насосомъ, вмѣстѣ съ водой получается часть отложившагося на подошвѣ шахты ила. Поэтому для полученія чистой воды мѣсто ея пріема должно оставаться на извѣстной высотѣ, обыкновенно около 0,5—1 метр., надъ подошвой шахты. На этомъ основаніи часть песчанаго тѣла фильтра отъ подошвы до этой высоты не образуетъ собой полезнаго водовмѣстилища, а поэтому раціонально ее по возможности уменьшить.

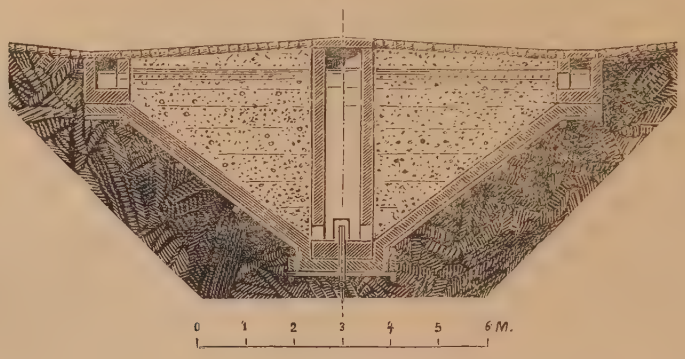
Весьма серьезное вниманіе должно быть обращено на возможно совершенную водонепроницаемость бассейна для помѣщенія песчанаго тѣла фильтра; она прежде всего достигается наружными стѣнами, снабженными водонепроницаемой облицовкой. Но, съ другой стороны, подобныя стѣны значительно увеличиваютъ начальную стоимость сооруженія.

Болѣе простой способъ устройства цистернъ состоитъ въ томъ, что вмѣсто устройства стѣнъ, водонепроницаемая облицовка наносится непосредственно на боковыя стѣнки ямы сборнаго бассейна, а при крутыхъ откосахъ и сыпучей почвѣ на откосы ямы кладется досчатая обшивка, поверхъ которой уже накладывается глиняная одежда.

На фиг. 37 изображенъ вертикальный разрѣзъ подобной цистерны; пріемъ воды изъ подобной цистерны обыкновенно производится помощью насосной трубы, которая опускается на достаточную глубину, гдѣ она снабжается выпускнымъ краномъ, вслѣдствіе чего верхнее

устье колодезной шахты можетъ быть закрыто каменной плитой. На боковыхъ плоскостяхъ вырытой въ почвѣ пирамиды закладываются деревянныя ребра, къ которымъ прибивается обшивка изъ обыкновенныхъ досокъ, тщательно подтрамбовываемая для полученія надежной поддержки приготовленныхъ такимъ образомъ плоскостей со стороны почвы. Эта подстилка

Фиг. 37.



затѣмъ покрывается какимъ-нибудь непроницаемымъ матеріаломъ, напр. асфальтовымъ картономъ, слоемъ асфальта, бетона, глины и проч., причемъ получается водонепроницаемое вмѣстилище для воды. При употребленіи глиняной одежды, которая должна оставаться ненарушимой въ теченіи продолжительнаго времени, къ глинѣ должно быть прибавлено около 10% песку. У вершины пирамиды въ почву опускается большой каменный стулъ или соотвѣтствующій бетонный массивъ, на которомъ устраивается колодецъ, снабженный въ нижней части стѣнокъ отверстіями или щелями для прохода въ него воды. Вдоль 4-хъ сторонъ верхняго основанія пирамиды направляется каналъ, снабженный обращенными во внутрь заполненнаго пескомъ бассейна отверстіями или щелями въ боковыхъ стѣнахъ, и покрытый кверху каменными плитами; этотъ каналъ въ 4-хъ мѣстахъ снабжается впускными отверстіями, по которымъ въ него поступаетъ скопляющаяся на водопріемной поверхности вода. Послѣ заполненія бассейна пескомъ отъ верхней каменной крышки колодца устраиваются скаты къ 4-мъ впускнымъ отверстіямъ, и вся верхняя поверхность вымащивается. Наружныя части водосборной поверхности тоже получаютъ скаты къ впускнымъ отверстіямъ. При этомъ расположеніи все сооруженіе, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, обходится значительно дешевле изображеннаго на фиг. 35 сооруженія; кромѣ того, песчаная насыпка пирамиды въ мѣстахъ, прилегающихъ къ стѣнкамъ колодца, можетъ дольше сохраняться въ чистомъ видѣ, такъ какъ каналы болѣе удалены отъ этого мѣста.

При сохраненіи глубины подошвы колодезной шахты подъ водосборной поверхностью приблизительно 4 метр. и увеличеніи верхняго основанія обращенной усѣченной пирамиды, уклоны откосовъ ямы сдѣлаются отложе и, наконецъ, примутъ положеніе естественнаго откоса почвы, при которомъ естественная почва не требуетъ никакой одежды. Въ подобномъ случаѣ для полученія надежнаго и дешеваго основанія подъ отдѣлку — бетонную покрышку, глиняную одежду и проч.—достаточно одного только надлежащаго утрамбованія почвы (а въ крайнемъ случаѣ нѣкоторой облицовки).

Что касается каналовъ для провода дождевыхъ водъ къ песчаной пирамидѣ, то прежде всего они должны быть легко доступны для чистки; это достигается устройствомъ съемной или подвижной покрышки. Наименьшіе размѣры каналовъ опредѣляются весьма простымъ вычисленіемъ.

Принимая во вниманіе, что просачиваніе воды черезъ щели каналовъ въ песокъ происходитъ очень медленно, легко понять, что каналы должны быть достаточно велики, для того, чтобы, въ случаѣ сильнаго дождя, вода могла бы сохраняться въ нихъ нѣкоторое время. Если черезъ h означимъ высоту воды, соотвѣтствующую наиболѣе сильному дождю, черезъ F—водосборную поверхность, черезъ f — поперечное сѣченіе канала и черезъ l —

общую длину канала, выраженныя въ метрахъ и квадратныхъ метрахъ, то по вышеизложенному соображенію должно быть

$$f \geqq \frac{Fh}{l};$$

при этомъ численное значеніе величины h зависитъ отъ мѣстныхъ метеорологическихъ условій. Въ нашихъ климатахъ поперечное сѣченіе не получится слишкомъ малымъ, если принять h=100 милим.; непрерывно продолжительный дождь въ рѣдкихъ случаяхъ доставляетъ болѣе значительное количество воды, а еще менѣе вѣроятно, чтобы 2 подобныхъ ливня слѣдовали бы одинъ за другимъ черезъ короткіе промежутки времени. Такимъ образомъ эмпирически можно принять

$$f \geqq \frac{0{,}1F}{l}$$

Наружныя, не снабженныя щелями, стѣнки каналовъ и ихъ подошвы, если онѣ не образуются непосредственно самымъ пескомъ, при показанной на фиг. 37 конструкціи, должны быть сдѣланы вполнѣ водонепроницаемыми. Въ нашемъ среднемъ климатѣ, гдѣ зимой почва промерзаетъ на глубину 1—1,5 метр., и облицовка стѣнокъ оказывается необходимой, это можетъ быть достигнуто внѣшней глиняной одеждой изъ слоя мятой глины. Впускные люки снабжаются рѣшетками для удержанія крупныхъ случайно попавшихъ на сборную поверхность предметовъ.

Глубина песчаной пирамиды подъ сборной поверхностью дѣлается въ круглыхъ числахъ 4 метр., и въ большинствѣ случаевъ практики подобная глубина оказывается наиболѣе цѣлесообразной. Впрочемъ, ее легко можно вычислить. Всѣ осадки, выпадающіе втеченіе года, должны найти себѣ мѣсто въ цистернѣ; такимъ образомъ по приведенному выше способу (по соображенію съ правильнымъ расходомъ) опредѣляется наименьшая ея вмѣстимость. Соотношеніе между площадью основанія и высотой усѣченной пирамиды опредѣляются мѣстными условіями, причемъ рѣшеніе вопроса должно соотвѣтствовать условію наименьшей начальной стоимости сооруженія.

Водосборныя поверхности, какъ упомянуто было выше, должны содержаться въ возможной чистотѣ. Лучше всего покрыть имъ слоемъ цемента или асфальта и чисто оштукатурить, выстлать каменными плитами или, наконецъ, вымостить. Голая земля, песокъ или гравій менѣе годны для покрытія пріемныхъ поверхностей, такъ какъ эти матеріалы легко смываются водой и могутъ тогда засорить фильтръ. Если водосборная поверхность покрыта дерновой покрышкой, то не слѣдуетъ упускать изъ виду, что здѣсь происходитъ значительное испареніе и частью также нѣкоторое поглощеніе осадковъ; соотвѣтственно съ этимъ необходимо увеличить величину рабочей водосборной поверхности.

Здѣсь считаемъ нелишнимъ обратить особое вниманіе на весьма важное значеніе предохраненія водосборныхъ поверхностей отъ внѣшнихъ засореній путемъ огражденій.

При пользованіи собираемой въ такихъ цистернахъ водой различаютъ два случая, стоящихъ въ тѣсной связи съ положеніемъ цистерны. Вода можетъ быть получена изъ цистерны двоякимъ путемъ:

1) черпаніемъ ея изъ расположеннаго въ срединѣ цистерны сборнаго колодца или шахты;
2) проводомъ ея въ ниже лежащее мѣсто по каналу, начинающемуся въ самомъ сборномъ колодцѣ.

Въ первомъ случаѣ устанавливается обыкновенное водочерпальное приспособленіе, причемъ этотъ способъ встрѣчается во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда обстоятельства почему-либо вынуждаютъ устроить все сооруженіе въ низколежащей части водоснабжаемой области. Въ этихъ случаяхъ необходимо принять всѣ мѣры, чтобы постороннія лица не имѣли бы доступа въ область колодца, а также чтобы вода не загрязнялась при разборѣ. Эта цѣль можетъ быть достигнута соотвѣтственнымъ огораживаніемъ водопріемной поверхности, устройствомъ запирающейся цистерновой будки и проч. Во всякомъ случаѣ крышка надъ горловиной цистерны представляетъ собой настоятельную необходимость.

Второй случай гораздо благопріятнѣе. Здѣсь колодезная шахта можетъ быть закрыта совершенно непроницаемо для воды, такъ какъ необходимый воздухъ во всякое время можетъ проникать въ шахту черезъ поры земли и каменныхъ стѣнъ. Черезъ подошву шахты плотно пропускается приподнятая внутри на 0,5—1 метр. и снабженная на своемъ концѣ сѣткой труба, которая принимаетъ въ себя воду изъ колодца и проводитъ ее къ мѣсту выпуска. Но въ подобномъ случаѣ цистерна должна быть расположена на 4—5 метр. выше мѣста выпуска воды. Всѣ особыя предохранительныя мѣры въ этомъ случаѣ дѣлаются излишними.

Въ послѣднемъ случаѣ даже нечего опасаться перерыва въ полученіи воды, если по небрежности кранъ оставленъ открытымъ. Если когда-нибудь случайно кранъ останется открытымъ, то, во всякомъ случаѣ, сперва вытечетъ содержимое шахты; но такъ какъ песокъ, какъ сказано было выше, очень медленно пропускаетъ воду изъ бассейна въ колодезь, то перерывъ водоснабженія продолжится не больше нѣсколькихъ только часовъ. Никогда невозможно подобнымъ образомъ выпустить все содержимое цистерны.

Считаемъ нелишнимъ здѣсь еще указать, что показанныя на фиг. 35 и 37 формы устройства цистернъ не во всѣхъ случаяхъ представляютъ собой самыя раціональныя формы. Наоборотъ, весьма часто могутъ встрѣтиться такія обстоятельства, при которыхъ, вслѣдствіе мѣстныхъ условій, приходится примѣнять другія формы цистернъ для полученія воды. Такъ, напр., существующія каменоломни, глиняныя копи или глиницы и т. под. иногда могутъ быть обращены въ водяныя цистерны. Кромѣ того, нѣтъ никакой необходимости устроить притокъ воды исключительно только по окружающимъ песчаную цистерну каналамъ. Можно заставлять воду проникать черезъ достаточно взрыхленную землю надъ песчаной насыпкой, при чемъ она сперва оставляетъ тамъ главнѣйшія нечистоты, послѣ чего она поступаетъ на поверхность песчанаго фильтра уже въ замѣтно очищенномъ видѣ и, во всякомъ случаѣ, до поступленія въ колодецъ дѣлается вполнѣ чистой и свѣжей. Если въ подобныхъ случаяхъ область осадковъ или водопріемная поверхность слишкомъ мала, то сюда можно провести воду изъ другихъ мѣстъ, напр., съ уличныхъ канавъ и проч. для пополненія количества воды, теряемой на испареніе съ поверхности земли. И въ этомъ случаѣ достигаютъ вполнѣ удовлетворительныхъ результатовъ. Дождевыя воды изъ водосточныхъ трубъ съ крышъ зданій, садовыхъ бесѣдокъ и проч. съ успѣхомъ могутъ быть примѣнены для водоснабженія путемъ проведенія ихъ въ цистерну.

Самое важное въ этомъ дѣлѣ — это постоянное стремленіе къ тому, чтобы вода сохранялась въ пескѣ по возможности глубоко подъ поверхностью почвы, чѣмъ она предохраняется

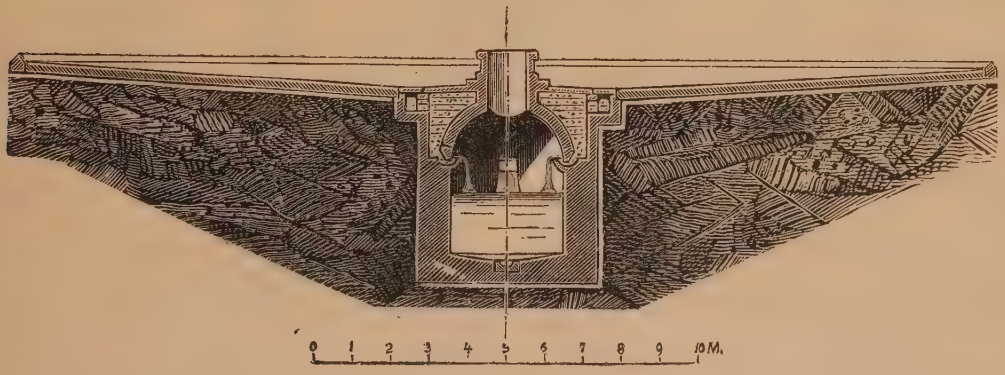
отъ порчи, оставаясь прохладной и въ весьма чистомъ видѣ готовой къ употребленію.

Наконецъ считаемъ нелишнимъ обратить вниманіе на то, что въ всякомъ случаѣ необходимо препятствовать заплыванію песка изъ песчаной пирамиды или изъ сборника въ колодецъ черезъ впускныя щели въ стѣнкахъ послѣдняго; при подобномъ заплываніи и постепенномъ накопленіи матеріала противъ щелей образуются песчаныя запруды.

Такія же песчаныя запруды образуются и въ томъ случаѣ, когда до поступленія въ сборный для чистой воды колодецъ вода должна проникать снизу вверхъ въ наполненный пескомъ сифонъ (сифонныя цистерны).

Одно изъ подобныхъ расположеній показано на фиг. 38. Послѣ всего изложеннаго оно не требуетъ никакихъ дальнѣйшихъ разъясненій. Слѣдуетъ только замѣтить, что при этой

Фиг. 38.



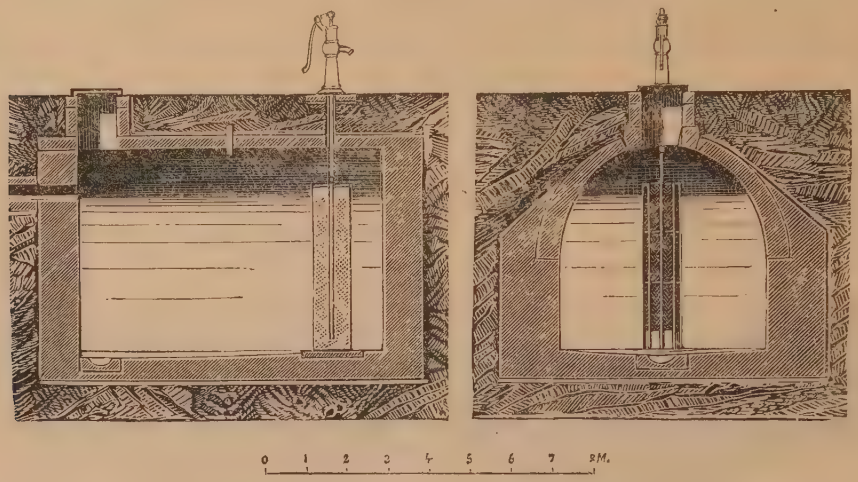
системѣ качества получаемой воды улучшаются, такъ какъ при опусканіи или паденіи частицъ воды въ колодезную шахту онѣ приходятъ въ соприкосновеніе съ воздухомъ. Само собой разумѣется, что и въ этомъ случаѣ на горловинѣ цистерны необходимо устроить плотную крышку.

Выше мы упомянули, что во многихъ мѣстахъ, преимущественно въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣверной Америки, водоснабженіе помощью цистернъ устраивается такимъ образомъ, что фильтрованіе воды происходитъ только въ моментъ ея полученія изъ цистернъ. Подобное устройство находитъ себѣ примѣненіе въ тѣхъ случаяхъ, когда стоки съ водосточныхъ желобовъ и проч. скопляются въ большихъ водовмѣстилищахъ, гдѣ они только отстаиваются и поступаютъ въ употребленіе нефильтрованными. Въ подобныхъ случаяхъ пріемная (для полученія воды) труба своимъ концомъ входитъ въ бакъ, отдѣляемый пористой стѣнкой отъ самой цистерны и имѣющій дно, расположенное нѣсколько выше подошвы самой цистерны, на которой происходитъ осѣданіе различныхъ нечистотъ; можно въ такихъ случаяхъ устроить пріемъ воды посредствомъ неподвижнаго или подвижнаго фильтра.

Примѣры подобнаго устройства приведены на фиг. 39, изображающей продольный и поперечный разрѣзы цистерны, питаемой водой съ крышъ и проч., помощью проходящей черезъ замокъ свода трубы. Корзинка съ фильтромъ росположена подъ насосомъ, и въ нее опущена снабженная щелями забирная труба. Фильтровая корзинка до высоты около 0,5 метр. надъ подошвой непроницаема для воды; внутри этой корзинки расположенъ фильтрующій матеріалъ съ увеличивающимися снаружи во внутрь зернами (это заполненіе корзинки производится вставкой въ нее цилиндрическихъ ситъ или шаблоновъ, вынимаемыхъ поочередно по мѣрѣ засыпки соотвѣтствующаго матеріала). Такимъ образомъ забирная труба всасываетъ только фильтрованную воду. Для удобства необходимаго отъ времени до времени обновленія

фильтра корзинка составлена изъ соотвѣтствующихъ отдѣленій, которыя отдѣльно вынимаются и черезъ лазъ вытаскиваются на дневную поверхность, гдѣ они могутъ быть очищены. Подъ этимъ лазовымъ отверстіемъ производится обратная вставка фильтра послѣ его очистки, причемъ въ него тогда же вставляется находящаяся въ пескѣ часть всасывающей трубы; послѣ установки корзинки подъ всасывающей трубой насоса послѣдній опять свинчивается со вса-

Фиг. 39.



сывающей трубой. Само собой разумѣется, что можно встрѣтить и такія устройства, въ которыхъ надъ фильтромъ въ связи цистерны оставлено отверстіе, закрываемое крышкой и открываемое при перемѣнѣ фильтра. Въ послѣднемъ случаѣ фильтровая корзина можетъ быть вынута и опять опущена въ цистерну помощью крана.

Въ практикѣ часто встрѣчаются такія устройства, при которыхъ падающія дождевыя воды скопляются непосредственно подъ крышей дома въ бакъ, гдѣ онѣ фильтруются и откуда прямо поступаютъ въ распредѣлительныя водопроводныя трубы. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ вода изъ цистернъ, служащихъ только сборными резервуарами, накачивается въ баки на чердакахъ зданій, гдѣ она фильтруется и затѣмъ поступаетъ въ трубы для домоваго водоснабженія [1]).

2. Сборъ воды помощью запрудъ.

Нетрудно себѣ представить, что загораживаніемъ долины, изрѣзанной водяными потоками и по своему геогностическому строенію совершенно или почти непроницаемой для воды, образуются искусственныя водохранилища. Сзади подобнаго прегражденія долины образуется прудъ; здѣсь всѣ притоки соединяются, наполняютъ искусственно образуемый бассейнъ и затѣмъ опять вытекаютъ изъ этого наполненнаго бассейна. Состояніе равновѣсія въ истеченіи водъ послѣ сооруженія плотины будетъ иное, нежели было до ея сооруженія; точно также и качества воды будутъ другія.

При опредѣленномъ неизмѣнномъ положеніи подошвы сточнаго канала количество истекающей воды послѣ образованія запруды будетъ обусловливаться только колебаніями ея уровня въ прудѣ; эти колебанія будутъ совершаться въ тѣмъ болѣе тѣсныхъ предѣлахъ, чѣмъ больше будетъ поверхность свободнаго уровня воды въ прудѣ при высотѣ ея стоянія, опредѣляемой даннымъ положеніемъ подошвы, и обратно. Временнымъ уменьшеніемъ или увеличеніемъ истока можно

[1]) Само собой разумѣется, въ подобныхъ случаяхъ необходимо должны быть приняты мѣры противъ замерзанія воды въ верхнемъ бакѣ (на чердакѣ).

произвольно регулировать расходъ воды и производить его въ извѣстныхъ предѣлахъ, зависящихъ отъ мѣстныхъ условій.

Выгоды подобныхъ сооруженій въ смыслѣ лучшаго использованія водоемовъ весьма значительны. Количества воды, прежде безполезно стекавшей въ видѣ полой воды или въ мутномъ видѣ, въ этомъ случаѣ задерживаются, отстаиваются и подготовляются къ полезному примѣненію; избытокъ притока водъ въ дождливое время скопляется для употребленія его при наступленіи недостатка въ водѣ: водяное хозяйство устанавливается и регулируется по желанію потребителей.

Уже съ самыхъ древнихъ временъ люди усмотрѣли пользу подобныхъ сооруженій, такъ какъ сама природа вездѣ даетъ намъ примѣры подобныхъ вполнѣ совершенныхъ сооруженій въ видѣ внутреннихъ озеръ. Чистыя прозрачныя воды, образующія истоки подобныхъ естественныхъ озеръ, небольшія колебанія количествъ истекающей воды въ сравненіи съ неправильными часто весьма мутными притоками въ эти озера вполнѣ ясно указываютъ на тѣ удобства и преимущества, которыхъ можно достигнуть помощью подобныхъ уравнительныхъ водохранилищъ. Поэтому подражаніе этимъ водохранилищамъ путемъ искусственнаго ихъ образованія началось уже много тысячъ лѣтъ тому назадъ. Въ Китаѣ, Японіи, Индіи, Ассиріи, Египтѣ, Испаніи, Перу, на Цейлонѣ и проч. подобныя сооруженія существуютъ уже съ незапамятныхъ временъ.

Въ самыхъ древнихъ изъ подобныхъ сборныхъ бассейновъ для загражденія или запруды долины примѣнялись земляныя плотины. Насколько извѣстно, примѣненіе каменныхъ плотинъ впервые введено въ Испаніи (въ XVI вѣкѣ) [1]. Въ новѣйшее время оставалось только выработать наиболѣе раціональныя конструкціи подобныхъ плотинъ и поставить ихъ сооруженіе на общихъ и вѣрныхъ началахъ.

Искусственные сборные бассейны, само собой разумѣется, служатъ не исключительно только для цѣлей водоснабженія (для питья и домашняго употребленія), хотя они въ этомъ отношеніи пріобрѣли весьма важное значеніе съ тѣхъ поръ, какъ дознано, что постоянныя водоснабженія крупныхъ городовъ изъ ключей или грунтовыми водами иногда очень не надежны, а во многихъ случаяхъ даже не возможны или связаны съ неимовѣрно крупными матеріальными затратами. Какъ въ прежнія времена, такъ и теперь они рѣдко устраиваются въ качествѣ сооруженій исключительно для добыванія питьевой воды, но преимущественно строятся въ качествѣ меліораціонныхъ сооруженій и для промышленныхъ цѣлей. Главнымъ образомъ въ южныхъ странахъ плодородность почвы въ значительной степени повышается путемъ орошенія изъ подобныхъ сборныхъ бассейновъ или водохранилищъ. При этомъ могутъ быть орошаемы не только участки, лежащіе ниже уровня воды въ бассейнѣ, но также и выше расположенныя земли, для чего запруженную воду употребляютъ въ качествѣ двигательной силы для подъема части этой воды на соотвѣтствующую высоту. Сборные пруды значительно содѣйствовали торговлѣ, облегчая судоходство по каналамъ. Правильно стекающія количества воды служатъ двигательной силой для промышленныхъ цѣлей. Скопленіе высокихъ водъ въ значительной степени уменьшаетъ наносимый ими вредъ, задерживаетъ вымываніе различныхъ матеріаловъ изъ подошвъ долинъ и даетъ возможность примѣнять безполезные и даже вредные быстрые ручьи для полученія двигательной силы.

Притекающія въ сборные бассейны воды бываютъ троякаго происхожденія: вода изъ ручьевъ и ключей въ соотвѣтствующей области осадковъ; вода, происходящая изъ атмосферныхъ осадковъ на окружающей мѣстности и притекающая непосредственно въ сборный бассейнъ, и, наконецъ, вода, сгущаемая на водяной поверхности самого бассейна. Весьма небольшая часть всѣхъ этихъ водъ по своимъ качествамъ можетъ считаться годной для водоснабженія. Но между тѣмъ въ самомъ сборномъ бассейнѣ путемъ химическихъ и физическихъ процессовъ происходитъ превращеніе, которое дѣлаетъ поименованные выше притоки примѣнимыми для указанной цѣли.

[1] Наиболѣе древняя и нынѣ еще существующая въ Испаніи, въ Альманзѣ, каменная плотина существовала тамъ уже въ 1586 г.

Всѣ эти воды въ сборномъ бассейнѣ смѣшиваются; растворенные въ нихъ газы диффузируются, а механическія примѣси опускаются на дно, т. е. происходитъ отстаиваніе воды. Нѣкоторыя находящіяся въ избыткѣ химическія вещества выдѣляются; органическія вещества окисляются; находящіяся въ области осадочнаго бассейна животныя и растенія поглощаютъ часть растворенныхъ въ водѣ газовъ, образуя при этомъ другіе газы, и вообще этотъ живущій міръ удерживаетъ не малое количество находящихся въ водѣ органическихъ и организированныхъ веществъ. Изъ органическихъ веществъ часть остается въ окаменѣломъ видѣ въ глиняныхъ и песчаныхъ пластахъ, постоянно осаждающихся на дно бассейна; другая часть этихъ веществъ, происходящая отъ гніенія животныхъ или растеній, или растворяется въ водѣ, или переходитъ въ атмосферу. Безпрерывно происходитъ обмѣнъ газовъ между водой и атмосфернымъ воздухомъ.

Эти безпрерывные химическіе и физическіе процессы, интенсивность которыхъ, понятно, мѣняется съ температурой воздуха, временемъ года и другими внѣшними условіями, по своему ходу бываютъ тѣмъ совершеннѣе въ смыслѣ улучшенія качествъ воды, чѣмъ больше вмѣстимость сборнаго пруда. Если послѣдняя достигаетъ весьма крупныхъ размѣровъ, то получается весьма однородная по своему составу смѣсь, сохраняющая свою однородность даже при перемѣнѣ временъ года; качества воды въ этомъ случаѣ принимаютъ все болѣе и болѣе неизмѣнный характеръ. Съ уменьшеніемъ величины отстойнаго бассейна происходитъ обратное явленіе: качества воды въ этомъ случаѣ измѣняются въ зависимости отъ рода поступающихъ въ бассейнъ притоковъ.

Температура воды на поверхности подобныхъ сборныхъ бассейновъ рѣдко бываетъ одинакова съ температурой окружающаго воздуха въ этой мѣстности; пока существуетъ подобная разница въ температурѣ—слѣд. почти безпрерывно—продолжается нагрѣваніе или охлажденіе верхнихъ слоевъ воды. Вслѣдствіе этого внутри массы воды происходитъ вертикальное циркуляціонное движеніе, изъ котораго главнымъ образомъ разсмотримъ тотъ моментъ, когда вслѣдствіе ли охлажденія лѣтомъ, осенью или весной или вслѣдствіе нагрѣванія зимой, весной или осенью, температура верхняго слоя воды достигла 4° С. При этой температурѣ вода имѣетъ наибольшую свою плотность (см. отд. IV, гл. 3), и поэтому опускается внизъ, безразлично, будутъ ли лежащіе подъ нимъ слои воды теплѣе или холоднѣе его. Тотчасъ же его мѣсто занимаетъ другой слой воды, съ которымъ происходитъ тотъ же процессъ и т. д.; по этому на подошвѣ сборнаго бассейна скопляются весьма значительныя количества воды съ температурой въ 4° С. Если эта подошва доступна для заимствованія теплоты извнѣ или выдѣленія ея наружу, то здѣсь получаются нѣкоторыя уклоненія отъ температуры 4° С; понятно, что эти уклоненія будутъ тѣмъ меньше, чѣмъ глубже, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, подошва сборнаго бассейна расположена подъ уровнемъ воды, такъ какъ передача теплоты снизу вверхъ и обратно, находится въ обратномъ отношеніи къ глубинѣ. Поэтому вода, получаемая изъ большихъ глубинъ (15—20 метр. подъ верхнимъ уровнемъ), какъ показываетъ опытъ, имѣетъ почти постоянную температуру, весьма близкую къ 4° С, какъ это увидимъ ниже (см. гл. 4).

Попадающія въ сборный прудъ нечистоты состоятъ главнымъ образомъ изъ наносимой вѣтромъ сажи и пыли съ улицъ, полей, растеній (цвѣточная пыль), изъ изверженій животныхъ, преимущественно птицъ и рыбъ, изъ погибшихъ растеній и животныхъ и, наконецъ, изъ различнаго рода намывовъ изъ открытыхъ водяныхъ потоковъ. Послѣдніе появляются иногда въ весьма значительныхъ количествахъ, преимущественно если они происходятъ отъ легкоразмываемой почвы, не скрѣпленной никакой растительностью. При устройствѣ сборныхъ бассейновъ всегда слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы стѣнки были по возможности обсажены растеніями, и чтобы откосы не были бы доступны размывающему дѣйствію воды, такъ какъ удаленіе отложеній впослѣдствіи бываетъ весьма затруднительно и сопряжено съ различными затрудненіями и значительными матеріальными расходами.

Вообще вода изъ впадающихъ въ прудъ притоковъ большей частью отстаивается уже на небольшомъ разстояніи отъ ихъ устьевъ, въ зависимости отъ отношенія ея температуры къ температурѣ запасной воды въ сборномъ прудѣ. Если притекающія воды теплѣе воды въ прудѣ, то онѣ плаваютъ на поверхности; если же онѣ холоднѣе, то онѣ опускаются на дно, слѣдуя по уклону подошвы.

Дальнѣйшія нечистоты въ водѣ происходятъ отъ прибоя волнъ, взрывающихъ почву на берегу бассейна до глубины 5—6 метр. ниже поверхности воды. Часть подошвы пруда, лежащая на глубинѣ болѣе 6 метр. подъ уровнемъ воды, не подвергается дѣйствію волненія.

Это явленіе загрязняетъ воду тѣмъ сильнѣе, чѣмъ шире береговая полоса, расположенная подъ уровнемъ воды на глубинѣ 5—6 метр. На всей этой береговой полосѣ постоянно лежитъ цѣлая масса нечистотъ; живыя животныя и растенія, погибшіе экземпляры изъ животнаго и растительнаго царства, намывы различныхъ фабричныхъ отбросовъ и т. д. придаютъ этой береговой полосѣ весьма непривлекательный внѣшній видъ. Чѣмъ шире эта полоса, тѣмъ быстрѣе эти вещества лѣтомъ при спокойномъ состояніи воды переходятъ въ гниль. Происходящій отъ этого вредъ въ гигіеническомъ отношеніи будетъ тѣмъ больше чѣмъ больше отношеніе поверхности этой береговой полосы ко всей внутренней поверхности сборнаго пруда. При небольшой глубинѣ сборныхъ прудовъ и очень отлогихъ берегахъ получаются водохранилища въ видѣ болотъ.

Опытъ показываетъ, что почти всѣ большіе сборные пруды съ глубиной воды больше 5—6 метр. и съ крутыми берегами и откосами во всякое время года даютъ воду, годную для водоснабженія; въ небольшихъ же неглубокихъ бассейнахъ съ откосами меньше двухъ или трехъ заложеній легко происходятъ застои или образованія болотъ, и скопляющаяся въ такихъ прудахъ вода, по крайней мѣрѣ, въ жаркое время года, не можетъ быть примѣнена для водоснабженія. Если же подобные небольшіе сборные пруды расположены въ богатой лѣсами мѣстности, то вода изъ нихъ можетъ быть употребляема; повидимому, лѣсъ производитъ дѣйствіе, парализующее застой или образованіе болота. Весьма благопріятное дѣйствіе на качества воды въ подобныхъ сборныхъ бассейнахъ, преимущественно при значительныхъ свободныхъ поверхностяхъ воды, производятъ дующіе надъ ними вѣтры. Затѣмъ весьма важное значеніе имѣетъ обновленіе содержимаго въ прудѣ помощью притоковъ, а также и то обстоятельство, загрязнены-ли эти притоки различными фабричными отбросами, грязными сточными водами съ населенныхъ мѣстностей и проч., или нѣтъ. Въ первомъ случаѣ для обезвреживанія всѣхъ этихъ вредныхъ веществъ путемъ упомянутыхъ выше химическихъ и физическихъ процессовъ требуется уже значительная величина пруда. Вмѣстѣ съ тѣмъ въ большихъ и глубокихъ прудахъ, повидимому, даже патогенные микробы становятся безвредными, преимущественно если вода берется изъ значительной глубины. Въ сравнительно холодной водѣ такихъ подпорныхъ прудовъ, по своимъ качествамъ и по своей температурѣ значительно отличающейся отъ воды, годной для разведенія бактерій, эти микробы не могутъ размножаться; кромѣ того, онѣ въ такой водѣ не находятъ для себя достаточнаго питанія, между тѣмъ какъ масса другихъ водныхъ животныхъ вынуждена ихъ истреблять раньше, нежели онѣ успѣваютъ опуститься на болѣе или менѣе значительную глубину.

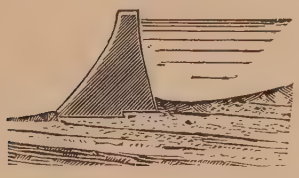
Наконецъ, весьма большое преимущество относительно качествъ воды въ сборныхъ прудахъ имѣетъ известковая или кремнистая подпочва пруда; сама вода съ содержаніемъ извести производитъ дезинфекцію, оказывающуюся весьма благопріятной. Обратное явленіе имѣетъ мѣсто при илистой подпочвѣ и илистыхъ притокахъ.

Кромѣ этихъ общихъ гигіеническихъ соображеній, которыя необходимо принять во вниманіе при устройствѣ сборнаго пруда, при выборѣ мѣстоположенія его на второмъ планѣ стоятъ геогностическія изслѣдованія. Требуемая для водосборнаго пруда почва должна быть въ состояніи безопасно выдержать давленіе скопленной въ немъ воды, вызываемое скопленной водой пропитываніе подпочвы, а также и сосредоточенное давленіе самой запруды (земляной плотины или запрудной стѣны) втеченіе весьма продолжительнаго времени.

Обыкновенно принимаютъ, что для полученія достаточно непроницаемаго внизу водяного бассейна достаточно глиняной постели толщиной не меньше $1^1/_2$ метр., ввиду неизбѣжнаго впослѣдствіи отложенія ила, увеличивающаго непроницаемость. Поэтому раньше всего необходимо убѣдиться въ томъ, имѣется ли подобной толщины наносный подошвенный слой; затѣмъ уже необходимо также изслѣдовать и лежащіе подъ этимъ наносомъ слои. Если наносы простираются на значительныя глубины, не обнажая породъ, то наиболѣе подходящей въ данномъ случаѣ запрудой оказывается земляная плотина. Если по данной потребности можно ограничиться плотиной высотой въ 20 метр. или менѣе, то при тщательномъ выполненіи этой плотины, и при весьма незначительномъ уклонѣ или при горизонтальномъ положеніи наносовъ, можно быть увѣреннымъ въ достаточной прочности сооруженія (см. ниже). Если уклонъ подстилающихъ слоевъ довольно великъ, и если подъ ними находится такая порода, которая при продолжительномъ пропитываніи расплывается или размягчается настолько, что вышележащіе слои начинаютъ скользить по ней, то устройство запруды рѣшительно должно быть отвергнуто. Для избѣжанія всякой опасности отъ осѣданія плотины, расположенныя подъ ней породы, даже при горизонтальномъ положеніи слоевъ, должны быть не сжимаемы. Земляныя плотины выше 30 метр. опасны при всѣхъ обстоятельствахъ, такъ какъ при высокой водѣ пропитываніе ихъ будетъ весьма сильно; кромѣ того, какъ мы это увидимъ ниже, устройство такихъ плотинъ нераціонально и въ экономическомъ отношеніи. Вообще при скалистой подпочвѣ слѣдуетъ устраивать не земляныя плотины, а подпорныя стѣны.

За скалами наиболѣе надежную подпочву для подпорныхъ стѣнъ представляютъ вулканическія породы: граниты, порфиры, базальты, трахиты и проч. Слоистыя формаціи, не столько по ихъ прочности, сколько по ихъ положенію и трещиноватости, не при всѣхъ обстоятельствахъ представляютъ собой надежное основаніе для подпорныхъ стѣнъ. Тѣмъ не менѣе, на нихъ безопасно можно строить, если они мало трещиноваты и расположены вполнѣ или почти горизонтально, или если слои наклонены по направленію устраиваемаго пруда (какъ показано на фиг. 40). Но и въ этомъ случаѣ необходимо наблюдать затѣмъ, чтобы подъ подошвой фундамента не находились слои мергеля или глины, которые, будучи пропитаны водой сборнаго бассейна, размягчаются, дѣлаются податливы или даже могутъ быть доведены до расплыванія. Поэтому до окончательнаго рѣшенія вопроса объ устройствѣ запруды необходимо ознакомиться со свойствами подобныхъ слоистыхъ формацій путемъ геогностическихъ съемокъ, пробныхъ буреній и проч. Подобныя предварительныя изслѣдованія важнѣе еще въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣются основанія предполагать вѣроятное существованіе щелей отъ взбрасыванія породы, глубокихъ трещинъ и проч. Если мѣстность, на которой предполагается вывести подпорную стѣну, расположена на выходныхъ концахъ слоевъ, то при нѣкоторомъ болѣе или менѣе значительномъ паденіи послѣднихъ подпорной стѣнѣ угрожаетъ опасность отъ подмыва фундамента, и эта опасность будетъ еще больше тогда, если здѣсь, какъ это имѣетъ мѣсто во многихъ другихъ формаціяхъ, существуютъ мергелистыя или глинистыя прослойки. При всѣхъ обстоятельствахъ необходимо обратить вниманіе на то, чтобы подпорная стѣна на всемъ своемъ протяженіи лежала бы своимъ основаніемъ на одномъ и томъ-же слоѣ, и чтобы порода подошвы нигдѣ не была бы нарушена.

Фиг. 40.



Что касается ситуаціи запруды, то послѣднюю слѣдуетъ всегда устраивать тамъ, гдѣ при данной мѣстности сооруженіе ея, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, вызываетъ наименьшія начальныя затраты. Затѣмъ слѣдуетъ по возможности избѣгать населенныхъ мѣстъ, какъ подъ запрудой, вслѣдствіе опасности отъ могущаго произойти ея обрушенія, такъ преимущественно и выше ея, для избѣжанія засоренія сборнаго пруда отбросами человѣческаго жилья. Плотины, а также и подпорныя стѣны необходимо должны быть снабжены спускными приспособленіями для спуска высокихъ водъ, ограничивающими наивысшее стояніе воды въ бассейнѣ, которая при этомъ всегда остается на опредѣленномъ разстояніи отъ гребня плотины или подпорной стѣны, соотвѣтствующемъ высотѣ прибоя волнъ. До начала постройки запруды необходимо выработать предохра-

нительныя мѣры противъ наступленія половодья во время постройки, и главнымъ образомъ изучить вопросъ о способѣ отвода воды (см. ниже).

Въ большинствѣ случаевъ для постройки запруды выбирается самое узкое мѣсто долины такъ какъ при этомъ уменьшаются первоначальныя затраты на ея постройку, т. е. сборный прудъ получаетъ болѣе значительную глубину безъ замѣтнаго увеличенія начальной стоимости сооруженія. По соображенію съ приведенными выше замѣчаніями относительно гигіеническихъ требованій, которымъ долженъ удовлетворить служащій для водоснабженія сборный прудъ, слѣдуетъ выбирать только долины съ крутыми берегами, такъ какъ подобныя долины лучше всѣхъ гарантируютъ хорошія качества воды на продолжительное время. При этомъ нѣтъ никакой безусловной необходимости примѣнять для водоснабженія постоянно только одну запруду; въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказывается выгоднымъ устроить цѣлый рядъ бассейновъ, расположенныхъ другъ надъ другомъ въ той же долинѣ, или—что еще лучше—распредѣленныхъ на разныхъ долинахъ [1]). Вообще въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ способовъ удовлетворенія желанію устроить водоснабженіе помощью запруды обыкновенно оказывается сравнительно немного; такимъ образомъ существенно облегчается сравненіе соотвѣтствующихъ проектовъ въ финансовомъ отношеніи.

Изслѣдованія, которыя должны предшествовать составленію проекта, должны еще преимущественно распространяться на изученіе притоковъ къ сборному бассейну: на опредѣленіе теченія ихъ впродолженіе необыкновенно сухого и весьма влажнаго года на опредѣленіе части осадковъ, какая можетъ быть задержана какъ въ одномъ, такъ и въ другомъ случаѣ и, наконецъ, на выборъ обусловливаемаго этими обстоятельствами водяного хозяйства. Что касается послѣдняго, то помимо потребностей водоснабженія, почти всегда необходимо принять въ соображеніе правильный расходъ воды для промышленныхъ цѣлей, который раньше удовлетворялся открытыми водяными потоками, предназначаемыми теперь въ качествѣ питательныхъ притоковъ къ сборному бассейну. По результатамъ произведенныхъ въ этомъ отношеніи изслѣдованій опредѣлится наименьшая требуемая вмѣстимость сборнаго бассейна. Имѣя всѣ эти данныя, нетрудно составить предварительный проектъ, по которому приблизительно опредѣлится общая стоимость, а также можно будетъ рѣшить, выгодно ли вмѣсто наименьшаго объема пруда путемъ дальнѣйшаго загражденія устроить прудъ съ болѣе значительнымъ объемомъ, или при какомъ предѣлѣ увеличеніе объема пруда перестаетъ быть выгоднымъ.

Нанося въ прямоугольной системѣ координатъ количества притока къ сборному пруду и расходы изъ него, какъ мы это указали выше для дождевыхъ цистернъ, получимъ діаграмму, графически изображающую разсчетъ наименьшей вмѣстимости сборнаго пруда. Но здѣсь относительно количествъ притока (если они не опредѣляются непосредственнымъ измѣреніемъ) необходимо принять въ соображеніе слѣдующее.

1. Если на всей принадлежащей данному сборному пруду области осадковъ (при чемъ здѣсь всегда подразумѣвается топографическая область осадковъ) выпадаетъ количество дождя выс. H, то для опредѣленія дѣйствительнаго полезнаго притока къ сборному пруду можно принять въ разсчетъ только $^1/_3$ H до $^2/_3$ H. Этотъ полезный притокъ будетъ тѣмъ ближе къ меньшему предѣлу, чѣмъ болѣе проницаема подпочва сборной области, и чѣмъ вообще бѣднѣе дождями данный годъ, и обратно [2]).

---

[1]) Если запруды расположены одна надъ другой, то обыкновенно, преимущественно при земляныхъ плотинахъ, прорывъ верхней плотины влечетъ за собой разрушеніе всѣхъ ниже лежащихъ.

[2]) Слѣдующія данныя представляютъ собой результаты наблюденій надъ количествами притока въ различныхъ областяхъ сборныхъ прудовъ, выраженные въ частяхъ всего годоваго количества дождя H: въ Монтобри $S = 0{,}288\ H$, въ Гро Боа $S = 0{,}498\ H$; въ Фюренъ $S = 0{,}626\ H$. Инде въ области ключей р. Вупперъ нашелъ $S = 0{,}750$—$0{,}775\ H$; при этомъ онъ приводитъ способы опредѣленія непосредственнымъ измѣреніемъ (см. Intze. O. Die bessere Ausnutzung der Gewässer und Wasserkräfte. Berlin. 1889).

2) При изложенномъ въ п. 1 способѣ разсчета не принята во вниманіе потеря отъ испаренія со свободной поверхности воды въ сборномъ прудѣ, а также и просачиваніе въ самомъ бассейнѣ и въ запрудѣ. Послѣдняя потеря возростаетъ съ высотой стоянія воды въ сборномъ бассейнѣ и съ шириной запруды; она также отчасти зависитъ отъ болѣе или менѣе совершеннаго выполненія самой запруды и въ весьма замѣтной степени отъ свойствъ подпочвы. мальныхъ условіяхъ потеря отъ просачиванія черезъ земляныя плотины, выраженная въ кубическихъ метрахъ за 24 часа, приблизительно можетъ быть принята

$$v = 0{,}35 . B . h,$$

гдѣ h—средняя высота подпруженной воды, а B—ширина плотины, выраженныя въ метрахъ. При подпорныхъ стѣнахъ эта потеря значительно меньше. Испареніе съ каждаго квадратнаго метра свободной поверхности за 24 часа въ сухое время можетъ быть принято въ среднемъ отъ 4 до 10 милиметр. высоты воды, въ зависимости отъ климата мѣстности, на которой находится разсматриваемый сборный прудъ; въ сырое время года это испареніе приблизительно равно нулю.

3. Количества воды, уходящей изъ сборнаго пруда при половодьи черезъ сливъ, въ большинствѣ случаевъ весьма значительны; въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ половодье наступаетъ правильно въ опредѣленныя времена года, эта потеря можетъ быть нѣсколько уменьшена такимъ распредѣленіемъ періодовъ дѣйствія пруда, чтобы въ соотвѣтствующіе періоды времени уровень воды въ прудѣ занималъ бы свое низшее положеніе. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ полая вода намѣренно отводится отъ сборнаго бассейна помощью соединительныхъ отводныхъ каналовъ; тогда вліяніе этой мѣры должно быть тщательно изслѣдовано.

Расходъ воды изъ сборнаго пруда обусловливается потребностью снабжаемой мѣстности, о которой подробно будетъ изложено ниже (см. отд. III), и зависитъ отъ количества воды, которая должна быть доставлена прудомъ въ открытые потоки или рабочіе жолоба для промышленныхъ цѣлей.

Отсюда ясно, что безъ непосредственныхъ измѣреній втеченіе даже нѣсколькихъ лѣтъ невозможно совершенно точно отвѣтить на всѣ вопросы, касающіеся водяного хозяйства со сборнымъ бассейномъ. Поэтому нѣтъ ничего удивительнаго, что несмотря на всю тщательность всѣхъ предварительныхъ разсчетовъ и предположеній, дѣйствительность не вполнѣ будетъ согласоваться съ ними. Во всякомъ случаѣ слѣдуетъ остерегаться слишкомъ высокаго предварительнаго опредѣленія притока.

Плотины принадлежатъ къ наиболѣе серьезнымъ и отвѣтственнымъ работамъ инженера; прорывы и разрушенія плотинъ неоднократно служили причиной неисчислимыхъ бѣдствій. Причины подобныхъ несчастій могутъ заключаться въ самомъ проектѣ сооруженія, какъ напр., въ недостаточной толщинѣ тѣла плотины или въ неправильномъ распредѣленіи массъ въ профили, въ неправильномъ устройствѣ спускныхъ трубъ, въ недостаточныхъ геогностическихъ изысканіяхъ, въ примѣненіи несоотвѣтствующихъ матеріаловъ, въ недостаточномъ спускѣ высокихъ водъ во время постройки или послѣ окончанія постройки плотины и т. д. Но большей частью онѣ кроются въ исполненіи и обслуживаніи плотины: плотина или подпорная стѣна небрежно построена, прониканіе воды не достаточно предупреждено небрежнымъ уплотненіемъ плотины съ водяной ея стороны; небольшія временами обнаруживающіяся поврежденія, даже при лучшемъ устройствѣ плотинъ, своевременно не исправлены, не обращено достаточнаго вниманія на вывѣтриваніе породы вокругъ плотины, на нѣкоторое появившееся небольшое просачиваніе воды вслѣдствіе трещинъ въ породѣ и т. д. Наконецъ, катастрофы иногда вызываются такими причинами, за которыя никто не можетъ являться отвѣтственнымъ, напр., необыкновенно продолжительной жарой и засухой, отъ которой какъ въ земляныхъ плотинахъ, такъ и въ каменныхъ подпорныхъ стѣнахъ, являются трещины; необыкновеннымъ половодьемъ, переливаніемъ воды черезъ гребень плотины, наконецъ измѣненіями породъ, землетрясеніемъ и проч. Въ обширной литературѣ этого предмета находится множество описаній разрушеній плотинъ, и приведенныя тамъ печальныя послѣдствія даютъ намъ осно-

ваніе взывать къ научнымъ знаніямъ и осторожности техниковъ, которымъ поручается выполненіе и надзоръ за подобными сооруженіями, и предлагать всякую даже малѣйшую деталь устраивать по возможности солиднѣе, не обращая вниманія на стоимость, и тщательно наблюдать какъ за постройкой, такъ и за дѣйствіемъ сооруженія. Что при подобныхъ условіяхъ—но только именно при нихъ—подобныя сооруженія могутъ просуществовать много столѣтій, доказываютъ старыя индійскія плотины и существующія уже больше 300 лѣтъ запруды въ Испаніи.

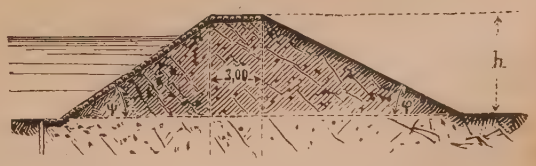
Земляныя плотины. Земляныя насыпи (въ прежнее время главнымъ образомъ примѣнявшіяся въ Англіи и Индіи, а также и въ средней Франціи, Германіи и Соединенныхъ Штатахъ Сѣв. Америки въ качествѣ плотинъ) оказываются удовлетворительными только въ влажныхъ климатахъ и должны быть устроены изъ хорошо выбранной земли, содержащей приблизительно 40% глины и 60% песку, такимъ образомъ, чтобы гребень плотины при высотѣ въ 3 метр. имѣлъ ширину не меньше 3 метр., и чтобы откосы были сдѣланы по меньшей мѣрѣ съ двойнымъ заложеніемъ. Вслучаѣ примѣненія одной только глины, послѣ нѣкоторой засухи въ плотинѣ обнаруживаются щели и трещины, а послѣ продолжительныхъ дождей замѣчается наклонность къ расплыванію плотины. Если выбранъ слишкомъ хрящеватый матеріалъ, то тѣло плотины образуетъ собой фильтръ для находящейся сзади него воды; плотина теряетъ свою устойчивость, и есть основаніе опасаться образованія большихъ путей для истока воды. Наилучшимъ матеріаломъ можетъ считаться достаточно крупнозернистый песокъ (гравій, хрящъ), содержащій въ себѣ какъ разъ такое количество глины, какое требуется для связи отдѣльныхъ песчаныхъ зернъ между собой. Подобная масса пріобрѣтаетъ еще большую прочность, если при трамбованіи отдѣльные слои поливаются известковымъ молокомъ, а если матеріалъ достаточно влаженъ (напр., при работѣ во время дождливой погоды), то между отдѣльными слоями насыпается известковый порошокъ.

Ширина гребня плотины для $h > 3$ метр. (фиг. 41) обыкновенно опредѣляется по эмпирической формулѣ:

$$1)\quad b = 3{,}00 + 0{,}3\ (h - 3),$$

гдѣ h означаетъ полную высоту плотины. Построенныя такимъ образомъ земляныя плотины или плотины съ еще болѣе отлогими откосами не требуютъ затѣмъ никакого статическаго разсчета; впрочемъ, статическій разсчетъ здѣсь не имѣетъ важнаго значенія, такъ какъ различные факторы — прежде всего напр., подъемная сила воды, сцѣпленіе между частицами земли и проч.—могутъ быть введены въ теоретическія вычисленія съ весьма проблематичной достовѣрностью. Если на фиг. 41 уголъ откоса плотины съ горизонталью со стороны воды назовемъ черезъ ψ, а уголъ откоса со стороны долины назовемъ черезъ φ то кубическое содержаніе или объемъ 1 метра ширины плотины данной поперечной профили будетъ

Фиг. 41.



$$J = bh + h^2\left(\frac{Cotg\,\psi + Cotg\,\varphi}{2}\right).$$

Изъ этой формулы видно, что главнымъ образомъ объемъ плотины увеличивается съ квадратомъ высоты; преимущественно это имѣетъ мѣсто при превышеніи гребня плотины надъ уровнемъ мѣстности больше, чѣмъ на 3 метр. На слѣдующей таблицѣ приведены наименьшія значенія J и b для откосовъ съ двойными заложеніями съ обѣихъ сторонъ плотины и для плотинъ высотою отъ 3 до 30 метр.

h въ метрахъ.	b въ метрахъ.	J въ кубич. метр.	h въ метрахъ.	b въ метрахъ.	J въ кубич. метр.
3	3	27,0	17	7,20	700,4
4	3,30	45,2	18	7,50	783,0
5	3,60	68,0	19	7,80	870,2
6	3,90	95,4	20	8,10	962,0
7	4,20	127,4	21	8,40	1058,4
8	4,50	164,0	22	8,70	1159,4
9	4,80	205,2	23	9,00	1265,0
10	5,10	251,0	24	9,30	1375,0
11	5,40	301,4	25	9,60	1490,0
12	5,70	356,4	26	9,90	1609,1
13	6,00	416,0	27	10,20	1733,4
14	6,30	480,2	28	10,50	1862,0
15	6,60	549,0	29	10,80	1995,2
16	6,90	622,4	30	11,10	2133,0

Безопаснѣе и лучше сдѣлать со стороны воды откосъ плотины 1 : 2,5 до 1 : 3. Въ зависимости отъ стоимости засыпочнаго матеріала, его подготовки, а также и стоимости требуемой при всѣхъ обстоятельствахъ облицовки всей внутренней (водяной) поверхности плотины, можно получить сравнительныя цифры относительно стоимости устройства каменной плотины.

Примѣняемый для насыпки плотины матеріалъ упомянутыхъ качествъ раньше всего долженъ быть очищенъ отъ всѣхъ подверженныхъ гніенію веществъ, и затѣмъ онъ насыпается и утрамбовывается или укатывается слоями толщ. 10—20 сантиметр. Подошва плотины должна лежать на материковомъ грунтѣ, освобожденномъ отъ слоя перегнойной земли или гумуса; для достиженія болѣе правильной связи слѣдуетъ вскопать или вспахать естественный грунтъ на поверхности подошвы и на этой вспаханной площади распредѣлить первую насыпку. До утрамбовки или укатки горизонтально уложенныхъ слоевъ земли слѣдуетъ ихъ поливать, и вообще всю насыпку слѣдуетъ всегда поддерживать въ влажномъ состояніи. Это лучше всего можетъ быть достигнуто постепеннымъ повышеніемъ уровня воды въ сборномъ прудѣ за плотиной по мѣрѣ продолженія насыпки. Насыпаемая земля должна поступать на разгрузныя подмостки въ возможно сухомъ видѣ и свободная отъ глыбъ; если же послѣднія неизбѣжны, то онѣ должны быть разбиты во время насыпки. Само собой разумѣется, что въ зимнее время не слѣдуетъ производить работы по насыпкѣ плотины, такъ какъ мерзлая земля вызоветъ самое опасное состояніе въ земляномъ тѣлѣ плотины, какъ это небезъизвѣстно всякому. Обыкновенно работы по насыпкѣ земляной плотины продолжаются довольно долго; даже совершенно готовая плотина почти безъ исключенія требуетъ дополнительныхъ работъ вслѣдствіе неизбѣжнаго большей частью въ первое время осѣданія сооруженія. О выгодѣ придаванія

насыпаннымъ слоямъ нѣкотораго уклона къ мокрой сторонѣ плотины мы здѣсь категорически ничего не можемъ сказать: во всякомъ случаѣ при вполнѣ однородномъ хорошо связывающемся внутри матеріалѣ, подобный уклонъ слоевъ будетъ совершенно излишнимъ и довольно затруднительнымъ.

Если фундаментъ подъ плотиной оказывается не достаточно водонепроницаемымъ, но подъ нимъ на сравнительно небольшой глубинѣ можно встрѣтить непроницаемый слой (глины, камня и проч.), то внутри плотины обыкновенно закладываютъ глиняный сердечникъ, который обыкновенно имѣетъ клинообразную форму кверху и книзу отъ площади подошвы. Устройствомъ этого сердечника имѣется въ виду достигнуть безусловной водонепроницаемости, что не всегда удается, такъ какъ только при самой тщательной работѣ можно избѣгнуть образованія трещинъ между глинянымъ сердечникомъ и окружающей его земляной массой. Для обезпеченія полнаго запруженія воды примѣняется также устройство внутренней подпорной стѣны, доходящей внизу до плотной породы; при всѣхъ этихъ вспомогательныхъ сооруженіяхъ необходимо принять въ соображеніе, что они только тогда правильно и надежно дѣйствуютъ, когда они сами по себѣ достаточно прочны для противодѣйствія давленію воды. По соображенію съ этими обстоятельствами большей частью оказывается цѣлесообразнѣе вообще перейти къ каменной подпорной стѣнѣ.

Откосъ плотины со стороны воды слѣдуетъ выстлать по возможности тщательнѣе большими каменными глыбами, укладываемыми въ надлежащей связи другъ съ другомъ; швы между камнями должны быть залиты растворомъ (цементнымъ), а также и камни должны быть уложены въ жидкую постель изъ раствора (уложены въ соку). Одна только зашебенка камней постоянно вызываетъ опасенія за цѣлость сооруженія. Для предохраненія наружнаго (со стороны долины) откоса плотины его слѣдуетъ дренировать.

Вообще слѣдуетъ по возможности избѣгать возведенія каменной кладки въ земляной плотинѣ, какъ напр., для водоспусковъ и проч., такъ какъ во всѣхъ мѣстахъ соприкасанія обоихъ этихъ матеріаловъ, преимущественно на вертикальныхъ плоскостяхъ соприкосновенія, между ними нѣтъ никакой связи, вслѣдствіе чего проникающая вода можетъ найти себѣ пути въ этихъ именно мѣстахъ.

Относительно допускаемой высоты земляныхъ плотинъ мнѣнія расходятся. Фехтъ [1]) находитъ земляныя плотины примѣнимыми въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣется легко уплотняемая подпочва, и гдѣ высота подпора при короткихъ плотинахъ не превышаетъ 15 метр., а при длинныхъ 12 метр.; противъ этого можно привести тотъ фактъ, что существующая плотина у Маренго въ Алжирѣ [2]) имѣетъ высоту въ 29 метр. Крезникъ [3]) и Кругнола [4]) даютъ наибольшую допускаемую высоту земляныхъ плотинъ въ 20 метр.

Каменныя плотины. Въ тѣхъ случаяхъ, когда подпочва на сравнительно небольшой глубинѣ представляетъ собой надежную подошву для каменной кладки, въ качествѣ плотинъ слѣдуетъ устраивать только каменныя подпорныя стѣны, которыя во всякомъ случаѣ представляютъ собой наиболѣе прочныя и большей частью наиболѣе дешевыя запруды. Родъ примѣняемой каменной кладки обусловливается мѣстнымъ положеніемъ сооруженія. Во всякомъ случаѣ каменная кладка должна быть приведена во внутреннюю связь съ фундаментомъ и технически должна быть выполнена такъ, чтобы она могла быть разсматриваема, какъ совершенно однородное тѣло одинаковаго

[1]) Fecht, H. Ueber die Anlage von Stauweihern in den Vogesen. Berlin. 1889.
[2]) Genie civil. т. 2 стр. 536. 1882 г.
[3]) Замѣтка Kresnik, Dr. P. въ Wochenschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1889. Ap. 313.
[4]) Crugnola, Gaet. Serbatoi d'acqua o laghi artificiali. Turin. 1890.

во всѣхъ мѣстахъ сопротивленія. Кромѣ того находящійся въ швахъ между отдѣльными камнями растворъ, а также и сами камни должны быть по возможности водонепроницаемы, насколько это вообще достижимо (см. отд. I, гл. 5 и 6). Кладка изъ тесанаго камня, вслѣдствіе сравнительно значительной ея стоимости, примѣняется для устройства плотинъ только въ исключительныхъ случаяхъ, иногда только для облицовки части наружной поверхности тѣла кладки; внутри же сооруженія наиболѣе цѣлесообразною во всякомъ случаѣ будетъ бутовая кладка на хорошемъ гидравлическомъ растворѣ.

Французскій инженеръ Кранцъ [1]) относительно выполненія подобной каменной кладки говоритъ слѣдующее: „перевязка во всѣхъ сѣченіяхъ и съ лицевыхъ сторонъ должна быть неправильная (на подобіе циклопическихъ построекъ); она во всей кладкѣ не должна образовать слоевъ; необходимо стремиться къ тому, чтобы вся плотина представляла бы собой одинъ сплошной монолитъ. Бутовая кладка съ циклонической перевязкой имѣетъ еще и то большое преимущество, что она безъ особыхъ приспособленій можетъ быть устроена во всевозможныхъ видахъ и формахъ; самыя сложныя кривыя могутъ быть размѣчены на мѣстѣ помощью профилей или деревянныхъ шаблоновъ, такъ что каменьщики могутъ работать легко и быстро, что имѣетъ далеко не маловажное значеніе". Мы съ своей стороны вполнѣ согласны съ этимъ взглядомъ. Возведеніе кладки слоями, перпендикулярными къ направленію равнодѣйствующей силы представляетъ собой совершенно излишнее и весьма дорогое условіе, иногда требуемое такъ называемыми теоретиками дѣла. Главное непремѣнное условіе всей этой работы состоитъ въ томъ, чтобы употреблялись хорошіе камни, чисто обмытые и укладываемые въ обильный по возможности слой надлежащимъ образомъ изготовленнаго гидравлическаго раствора.

Что касается выдерживаемой такими стѣнами нагрузки, то само собой разумѣется, что она можетъ дойти до весьма значительной величины. Затѣмъ, чѣмъ больше допускаемое давленіе, тѣмъ выше можетъ быть устроена подпорная стѣна. Но такъ какъ само по себѣ теоретическое вычисленіе распредѣленія давленія на подобныя стѣны производится на основаніи гипотезъ [2]), то въ отно-

---

[1]) Krantz, B. Etude sur les murs de reservoires. Paris. 1870.

[2]) Гипотетическое предположеніе, принимаемое при вычисленіи распредѣленія давленія P, направленнаго нормально къ плоскости, состоитъ въ томъ, что удѣльное давленіе (давленіе на 1 квадр. единицу) p въ какомъ-либо мѣстѣ (x, y) этого поперечнаго сѣченія можетъ быть выражено уравненіемъ

$$p = Ax + By + C,$$

гдѣ A, B и C — постоянныя числа.

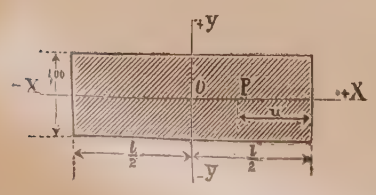
Но помимо этого предположенія существуютъ еще механическія соотношенія:

$$P = \int p \, . \, dF; \; Px_1 = \int xp \, . \, dF; \; Py_1 = \int yp \, . \, dF,$$

гдѣ dF изображаетъ элементъ плоскости, а x_1 и y_1 — координаты точки приложенія нормальной силы P (равнодѣйствующей).

Взявши началомъ координатъ центръ тяжести плоскости, выбравъ оси симметріи и плоскости (если онѣ существуютъ) въ качествѣ осей координатъ, мы на основаніи этой гипотезы получимъ

Фиг. 42.



$$P = C\int dF; \; Px_1 = A\int x^2 dF; \; Py_1 = B\int y^2 dF,$$

такъ какъ теперь $\int x dF$, $\int y dF$ и $\int xy dF$ будутъ равны нулю.

Если въ данномъ случаѣ плоскость имѣетъ форму прямоугольника высот. $= 1$ и шир. $= l$, и если точка приложенія силы P лежитъ на оси X—овъ (фиг. 42), то будетъ

$$dF = dx; \; F = l; \; x_1 = \frac{l}{2} —; \; y_1 = 0,$$

шеній допускаемыхъ нагрузокъ не слѣдуетъ зайти слишкомъ далеко. Мы уже выше указали на большую отвѣтственность, лежащую на инженерѣ, выполняющемъ подобное сооруженіе. До сихъ-поръ имѣются вполнѣ надежныя сооруженія, въ которыхъ наибольшее давленіе колеблется между 6 (нормально) и 14 килограммами (плотина Альманза) на 1 кв. сантим.; поэтому можно безопасно выполнять сооруженія, допуская въ нихъ давленія, находящіяся между этими предѣлами. Мы этимъ вовсе не хотимъ сказать, что болѣе значительныя давленія не допустимы; но допущеніе ихъ, по нашему мнѣнію, нѣсколько рискованно.

Большія массы каменной кладки плотины требуютъ довольно продолжительнаго времени, нѣсколькихъ лѣтъ, для достиженія надлежащей связи раствора съ камнями. Мы здѣсь указываемъ на это обстоятельство, такъ какъ слишкомъ раннее пусканіе воды въ сборный прудъ, при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ, можетъ вредно вліять на химическій процессъ при отвердѣваніи или связываніи раствора, преимущественно если для работы употреблена обыкновенная гидравлическая известь.

Виды и размѣры, придаваемые подпорнымъ стѣнамъ, бываютъ довольно разнообразны; приведенная ниже основная форма подпорныхъ стѣнъ въ большинствѣ случаевъ заслуживаетъ нѣкоторыхъ преимуществъ предъ другими формами.

и мы получаемъ

$$P = Cl\,;\; P\left(\frac{l}{2} - u\right) = A\int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} x^2 dx = \frac{Al^3}{12}\,;\; B = 0\,,$$

откуда

$$p = Ax + By + C = \frac{P}{l}\left[\frac{(6l - 12u)\,x}{l^2} + 1\right].$$

На части прямоугольника, лежащей на положительной части оси x—овъ будетъ $x = \frac{l}{2}$, а слѣд. давленіе p_1 будетъ

$$p_1 = \frac{2P}{l}\left(2 - \frac{3u}{l}\right).$$

На сторонѣ прямоугольника, лежащей на отрицательной сторонѣ оси x—овъ, будетъ $x = -\frac{l}{2}$, слѣд. p_2 будетъ

$$p_2 = \frac{2P}{l}\left(\frac{3u}{l} - 1\right),$$

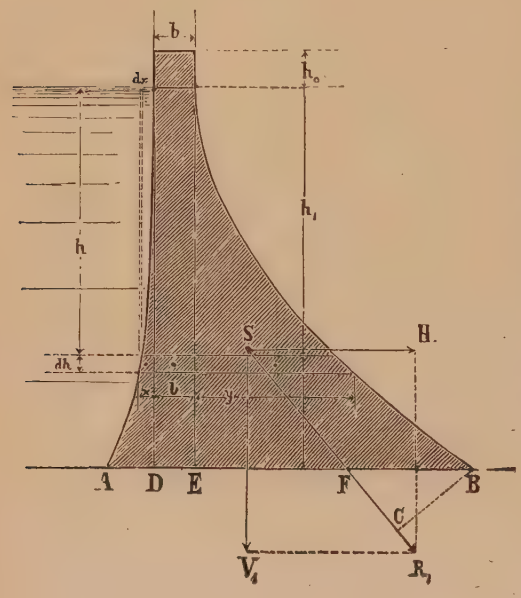
откуда мы видимъ, что при $u = \frac{l}{3}$ величина p_2 обратится въ нуль, и въ этомъ случаѣ $p_1 = \frac{2P}{l}$.

Если $u < \frac{l}{3}$, то p_2 получаетъ отрицательное значеніе, т. е. на части прямоугольника, лежащей на отрицательной сторонѣ оси x—овъ, получается извѣстное растяженіе. Давленіе тогда распредѣляется только по площади длиной $3u$, вслѣдствіе чего для p_1 постоянно существуетъ соотношеніе, получаемое при условіи $l = 3u$, а именно:

$$p_1 = \frac{2P}{3u}.$$

Теоретическія основныя положенія. Подпорная стѣна должна оказывать приблизительно одинаковыя наибольшія давленія на отдѣльныя горизонтальныя поперечныя сѣченія, какъ при пустомъ, такъ и при наполненномъ сборномъ прудѣ, и для предупрежденія появленія гдѣ-либо растягивающихъ натяженій линія давленія въ обоихъ случаяхъ не должна выходить за $^1/_3$ профильной горизонтали.

Фиг. 43.



Разсмотримъ теперь изображенную на фиг. 43 стѣну, длина которой въ плоскости, перпендикулярной къ чертежу профили, предположена равной единицѣ. Обозначимъ вѣсъ куб. метра воды черезъ γ [1]), а вѣсъ кубич. метра каменной кладки черезъ γ' килограмм. Проведемъ черезъ точки D и E двѣ вертикальныхъ линіи, и пусть въ какомъ-либо горизонтальномъ сѣченіи, лежащемъ на разстояніи h отъ уровня воды, x означаетъ разстояніе омываемой водой линіи кладки отъ внутренней вертикали, а y—разстояніе соприкасающейся съ воздухомъ линіи кладки отъ внѣшней вертикали, V_1—общую вертикальную силу, дѣйствующую на этой части кладки до этого горизонтальнаго сѣченія, H_1—сумму всѣхъ дѣйствующихъ въ этомъ сѣченіи горизонтальныхъ силъ. При совершенно наполненномъ бассейнѣ будетъ

$$1)\quad V_1 = \gamma' \left[bh_0 + \int_0^h (x + b + y)\, dh \right] + \gamma \int_0^{x_1} h \,.\, dx.$$

Сумма всѣхъ горизонтальныхъ давленій, происходящихъ исключительно отъ давленія воды на стѣну, будетъ

$$2)\quad H_1 = \gamma \int_0^{h_1} h \,.\, dh = \gamma\, \frac{h_1^2}{2}.$$

По этимъ уравненіямъ можно опредѣлить величину равнодѣйствующей силы

$$3)\quad R_1 = \sqrt{V_1^2 + H_1^2},$$

которая пересѣкаетъ подошву или основаніе въ точкѣ F.

Возьмемъ теперь моментъ этой силы относительно ребра B, и элементъ плоскости $(x + b + y).\, dh$, а также и отдѣльныя его части, будемъ разсматривать, какъ прямоугольникъ если затѣмъ обозначимъ черезъ $r_1 = CB$ плечо момента равнодѣйствующей R_1, то сумма отдѣльныхъ моментовъ относительно точки B должна быть равна полному моменту, такъ что обозначая $AD = x_1$, $DE = b$ и $EB = y_1$, получаемъ

$$4)\quad R_1 r_1 = \gamma' \left[bh_0 \left(y_1 + \frac{b}{2} \right) + \int_0^{h_1} x \,.\, dh \left(y_1 + b + \frac{x}{2} \right) + \int_0^{h_1} b \,.\, dh \left(y_1 + \frac{b}{2} \right) + \right.$$

$$\left. + \int_0^{h_1} y \,.\, dh \left(y_1 - \frac{y}{2} \right) \right] + \gamma \left[\int_0^{x_1} h \,.\, dx\, (y_1 + b + x) - \int_0^{h_1} h \,.\, dh\, (h_1 - h) \right],$$

откуда можетъ быть опредѣлена величина r_1 по данной профили.

Изъ чертежа видно, что

$FB : CB = R_1 : V_1$, откуда при $CB = r_1$ слѣдуетъ, что

$$5)\quad FB = \frac{R_1 r_1}{V_1},$$

---

[1]) При чистой водѣ извѣстно, что $\gamma = 1000$ килогр. Если вода временами бываетъ мутна, то нужно принять $\gamma = 1050 - 1100$ килогр. Удѣльный вѣсъ каменной кладки γ', этого весьма важнаго фактора для опредѣленія устойчивости подпорной стѣны, постоянно долженъ быть опредѣленъ непосредственнымъ взвѣшиваніемъ образца каменной кладки.

Обозначимъ черезъ p_1 наибольшее допускаемое давленіе на передней грани стѣны въ B (гдѣ при наполненномъ бассейнѣ давленіе бываетъ наибольшее) и обусловимъ, чтобы равнодѣйствующая не выходила бы за предѣлы первой трети подошвы; тогда получаются ограничивающія условія:

$$6)\ FB = \frac{x_1 + b + y_1}{3} \text{ и } p_1 = \frac{2V_1}{x_1 + b + y_1}$$

и на основаніи ур. 5) получаемъ

$$7)\ R_1 r_1 = V_1 \frac{x_1 + b + y_1}{3} = \frac{p_1}{6}(x_1 + b + y_1)^2.$$

При порожнемъ бассейнѣ наибольшія давленія проявляются на сторонѣ, обращенной во внутрь. Сумма V_2 всѣхъ вертикальныхъ давленій получается изъ ур. 1) съ откидываніемъ втораго члена правой части уравненія:

$$8)\ V_2 = \gamma' \left[bh_0 + \int_0^{h_1} (x + b + y)\, dh \right].$$

Горизонтальныя давленія будутъ равны нулю, а горизонтальное разстояніе центра тяжести отъ ребра A въ этомъ случаѣ опредѣляетъ собой точку приложенія равнодѣйствующей $R_2 = V_2$. Аналогично съ ур. 4) находимъ уравненіе моментовъ:

$$9)\ V_2 r_2 = \gamma' \left[bh_0 \left(x_1 + \frac{b}{2} \right) + \int_0^{h_1} \frac{x^2}{2}\, dh + \int_0^{h_1} b\, dh \left(x_1 + \frac{b}{2} \right) + \int_0^{h_1} y\, dh \left(x_1 + b + \frac{y}{2} \right) \right].$$

Если затѣмъ p_2 будетъ допускаемое наибольшее давленіе на переднее ребро стѣны въ A, и если обусловлено, какъ и раньше, чтобы равнодѣйствующая V_2 во всякомъ случаѣ находилась бы въ первой трети подошвы, то въ этомъ случаѣ получаемъ аналогично ограничивающее условіе:

$$V_2 r_2 = V_2 \frac{x_1 + b + y_1}{3},$$

причемъ

$$10)\ r_2 = \frac{x_1 + b + y_1}{3} \text{ и } 11)\ p_2 = \frac{2V_2}{x_1 + b + y_1}.$$

Такъ какъ V_2 меньше V_1 и только тогда бываетъ равно V_2, когда обращенная къ водѣ поверхность подпорной стѣны представляетъ собой вертикальную плоскость, то мы видимъ, что во всѣхъ другихъ случаяхъ при порожнемъ бассейнѣ наибольшее давленіе на внѣшнюю сторону стѣны всегда должно быть больше давленія на внутреннюю обращенную къ водѣ сторону.

Такимъ образомъ мы видимъ, что условіе существованія одинаковыхъ наибольшихъ давленій во всей профили какъ при пустомъ, такъ и при наполненномъ бассейнѣ, не можетъ быть удовлетворено или же можетъ быть удовлетворено лишь до тѣхъ поръ, пока обращенная къ водѣ сторона стѣны представляетъ собой вертикальную плоскость, что при данной предѣльной нагрузкѣ возможно для опредѣленной только высоты; начиная же съ этой высоты, необходимо аналитически удовольствоваться тѣмъ, чтобы сдѣлать разность между наибольшими давленіями на одинаковой горизонтали для обоихъ случаевъ наименьшею.

При такихъ обстоятельствахъ интегралы основныхъ уравненій не даютъ конечныхъ выраженій для произвольной высоты h; но путемъ приблизительныхъ вычисленій удается опредѣлить вѣрную профиль при статически требуемыхъ условіяхъ. Эти вычисленія весьма утомительны и запутаны, причемъ также чрезвычайно длинны, такъ что мы ихъ здѣсь не приводимъ.

Приведемъ здѣсь предложенный Вилліо*) простѣйшій приблизительный способъ и графическое рѣшеніе этой задачи. Для краткости мы здѣсь приведемъ только способъ построенія; полученную этимъ путемъ профиль затѣмъ подвергнемъ графостатическому разбору, по мощью котораго она, наконецъ, можетъ быть доведена до желаемой степени совершенства.

Если обозначимъ

черезъ $\lambda = \frac{\gamma}{\gamma'}$ отношеніе удѣльнаго вѣса воды къ удѣльному вѣсу каменной кладки,

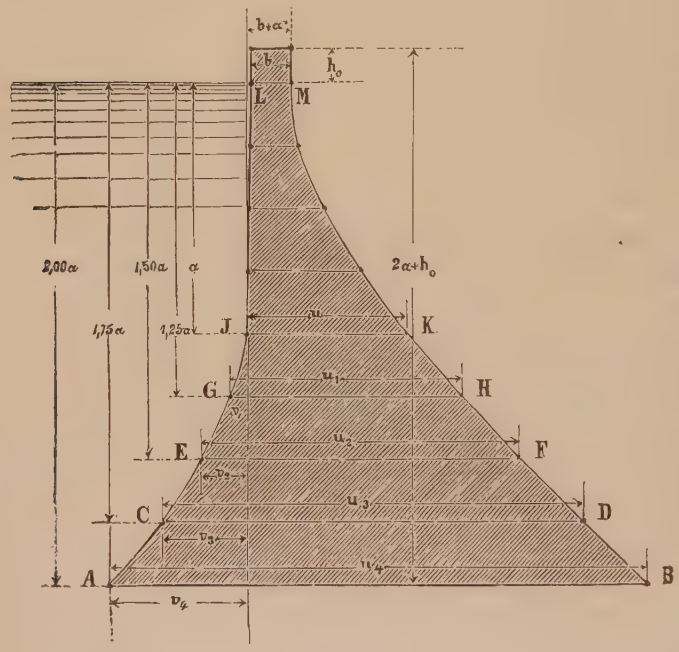
„ p_m — наибольшее допускаемое въ подпорной стѣнѣ давленіе,

„ $a = \frac{p_m}{\gamma'}$ высоту, при которой это давленіе достигается въ прямоугольной профили шириной въ 1 метръ,

*) Williot, W. Murs de retenue des grands reservoirs. Paris. 1880.

и предположимъ, что выше наиболѣе высокаго стоянія воды стѣна никакой особенно большой нагрузкѣ не подвергается или что она выводится не выше того мѣста, котораго достигаютъ удары волнъ *), тогда можно получить приблизительно вѣрную профиль слѣдующимъ образомъ:

Черезъ точку J (фиг. 44) проводимъ вертикальную линію, и на высотѣ $a = \frac{p}{\gamma}$ отъ этой точки проводимъ горизонтальную линію; отъ точки пересѣченія этихъ двухъ прямыхъ откладываемъ на горизонтальной линіи длину $\alpha = 0{,}02a$ и получаемъ точку L; прямая JL изобразитъ собой верхнюю часть поля стѣны со стороны воды Величина $LM = b$ (т. е. ширина гребня) выбирается въ зависимости отъ дальнѣйшаго назначенія гребня стѣны; въ практикѣ она колеблется между 2 и 15 метр. Для теоретической профили величина b выбирается между 4 и 5 метр. Длина линіи $JK = u$ должна быть сдѣлана $= a\sqrt{\lambda}$; къ этой величинѣ и отнесены всѣ другія измѣренія, помѣщенныя въ нижеприведенной таблицѣ въ видѣ относительныхъ чиселъ для $\lambda = 0{,}50$. При этомъ $u_1 = GH$ $u_2 = EF$; $u_3 = CD$, $u_4 = AB$; значенія величинъ v_1, v_2, v_3 и v_4 видны изъ чертежа. Приводимыя въ таблицѣ разности Δ_1 и Δ_2 служатъ для перевода помѣщенныхъ значеній для величинъ λ, большихъ или меньшихъ 0,50.



Фиг. 44.

Глубина подъ уровнемъ воды h	Относительныя числа ординатъ v	Δ_1	Δ_2	Относительныя числа ординатъ u	Δ_1	Δ_2
1,00 a	—	—	—	$\frac{2(u-0)}{u} = 2{,}00$	0	0
1,25 a	$\frac{2v_1}{u} = 0{,}222$	0	0	$\frac{2(u_1-v_1)}{u} = 2{,}637$	— 0,016	0
1,50 a	$\frac{2v_2}{u} = 0{,}567$	— 0,004	— 0,001	$\frac{2(u_2-v_2)}{u} = 3{,}323$	— 0,040	0,002
1,75 a	$\frac{2v_3}{u} = 1{,}050$	— 0,013	— 0,002	$\frac{2(u_3-v_3)}{u} = 4{,}066$	— 0,073	0,008
2,00 a	$\frac{2v_4}{u} = 1{,}687$	— 0,029	0	$\frac{2(u_4-v_4)}{u} = 4{,}883$	— 0,120	0,012

*) Кранцъ рекомендуетъ формулу $h_0 = 0{,}1h_1$ съ постояннымъ наибольшимъ значеніемъ $h_0 = 3{,}5$ метр. для стѣнъ выше 35 метр.

Такимъ образомъ для $\lambda = 0{,}50$ (т. е. $\gamma = 1000$ и $\gamma' = 2000$) помощью этой таблицы непосредственно получаемъ численныя значенія, которыя опредѣляютъ собой по 4 точки профили стѣны, какъ съ наружной, такъ и съ внутренней водяной стороны ея, а именно: A, C, E, G, B, D, F, H. Если затѣмъ черезъ точки A, C, E, G и J проведемъ кривую, къ которой прямая JL будетъ касательной въ точкѣ J, а черезъ точки B, D, F, H, K, M проведемъ по возможности подходящую дугу гиперболы, вершина которой расположена въ M, то получимъ цѣлесообразную профиль стѣны.

При всякомъ другомъ значеніи λ, отличающемся отъ 0,50, отношеніе ординатъ $\frac{2v}{u}$ и $\frac{2(u-v)}{u}$ будетъ уже другое. Если черезъ n обозначимъ какое-нибудь изъ табличныхъ значеній для $\frac{2v}{u}$ или $\frac{2(u-v)}{u}$, то соотвѣтствующее значеніе m для $\lambda = 0{,}50 + d$ опредѣляется по эмпирической формулѣ;

$$m = n + 5d\left[2\Delta_1 - \Delta_2(1 - 10d)\right].$$

Примѣръ. Подпорная стѣна съ шириной гребня въ 4 метр. можетъ быть выложена изъ гранитной кладки, 1 кубич. метръ которой вѣситъ 2400 килогр. Желательно поднять воду по возможности выше, допуская наибольшее давленіе въ 6 килогр. на 1 квадр. сантиметръ. Требуется опредѣлить профиль стѣны.

Принимая, что давленіе на стѣну производится лишь очищенной водой бассейна, получаемъ $\gamma = 1000$; соотвѣтственно этому получимъ

$$\lambda = \frac{1000}{2400} = 0{,}4167; \qquad a = \frac{p_m}{\gamma'} = \frac{60000}{2400} = 25{,}00 \text{ метр.}$$

Наибольшая допускаемая высота стѣны будетъ поэтому $2 \,.\, 25{,}00 = 50{,}00$ метр.

Значеніе $\alpha = 0{,}02 \,.\, 25{,}00 = 0{,}50$ метр.; величина $u = a\sqrt{\lambda} = 25{,}00\sqrt{0{,}4167} = 16{,}138$ метровъ.

Разница d между $\lambda = 0{,}50$ и $\lambda = 0{,}4167$ составляетъ $d = -0{,}0833$. Отсюда получаемъ:

$$m = n - 5 \,.\, 0{,}0833.\left[2\Delta_1 - \Delta_2(1 + 10 \,.\, 0{,}0833)\right] = n - 0{,}833.\Delta_1 + 0{,}763.\Delta_2,$$

т. е. получаемъ слѣдующія численныя значенія:

$$\frac{2v_1}{u} = \ldots\ldots\ldots = 0{,}222; \quad \ldots \quad v_1 = \frac{0{,}222 \,.\, 16{,}138}{2} = 1{,}79;$$

$$\frac{2v_2}{u} = 0{,}567 + 0{,}833 \,.\, 0{,}004 - 0{,}763.\ 0{,}001 = 0{,}570; \quad \ldots \quad v_2 = \frac{0{,}570 \,.\, 16{,}138}{2} = 4{,}60;$$

$$\frac{2v_3}{u} = 1{,}050 + 0{,}833 \,.\, 0{,}013 - 0{,}763.\ 0{,}002 = 1{,}059; \quad \ldots \quad v_3 = \frac{1{,}059 \,.\, 16{,}138}{2} = 8{,}55;$$

$$\frac{2v_4}{u} = 1{,}687 + 0{,}833 \,.\, 0{,}029 \ldots = 1{,}711; \quad \ldots \quad v_4 = \frac{1{,}711 \,.\, 16{,}138}{2} = 13{,}81, \text{ и}$$

$u = 16{,}138$ $\qquad$ $u = 16{,}138$

$$\frac{2(u - v_1)}{u} = 2{,}637 + 0{,}833 \,.\, 0{,}016 \ldots = 2{,}650; \quad \ldots \quad u_1 - v_1 = \frac{2{,}650 \,.\, 16{,}138}{2} = 21{,}38;$$

$$\frac{2(u_2 - v_2)}{u} = 3{,}323 + 0{,}833 \,.\, 0{,}040 + 0{,}763.\ 0{,}002 = 3{,}358; \quad \ldots \quad u_2 - v_2 = \frac{3{,}358 \,.\, 16{,}138}{2} = 27{,}10;$$

$$\frac{2(u_3 - v_3)}{u} = 4{,}066 + 0{,}833 \,.\, 0{,}073 + 0{,}763.\ 0{,}008 = 4{,}133; \quad \ldots \quad u_3 - v_3 = \frac{4{,}133 \,.\, 16{,}138}{2} = 33{,}35;$$

$$\frac{2(u_4 - v_4)}{u} = 4{,}883 + 0{,}833 \,.\, 0{,}120 + 0{,}763.\ 0{,}012 = 4{,}992; \quad \ldots \quad u_4 - v_4 = \frac{4{,}992 \,.\, 16{,}138}{2} = 40{,}28.$$

Такимъ образомъ всѣ требуемыя для вычерчиванія профили точки намъ извѣстны, а именно:

$$u_1 = 21{,}38 + 1{,}79 = 23{,}17; \qquad u_2 = 27{,}10 + 4{,}60 = 31{,}70;$$
$$u_3 = 33{,}35 + 8{,}55 = 41{,}90; \qquad u_4 = 40{,}28 + 13{,}81 = 54{,}09.$$

Гипербола съ вершиной въ точкѣ M (фиг. 44) можетъ быть вычерчена, если намъ извѣстны двѣ ея точки помимо вершины. Наиболѣе вѣрную и изящную кривую получимъ, выбравъ точки B и K. Аналитически гипербола эта изобразится уравненіемъ

$$y^2 = 0{,}69\,(x^2 + 65{,}50x).$$

по четыремъ соотвѣтствующимъ значеніямъ

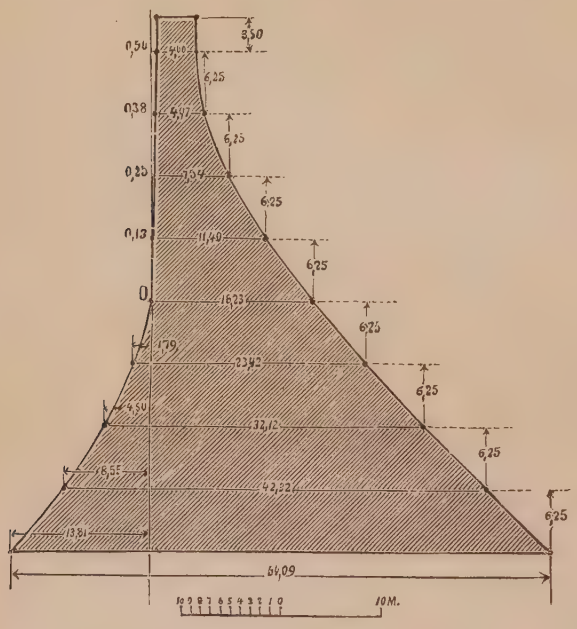
$$y = 25{,}00 \qquad x = 16{,}14 - (0{,}50 + 4{,}00) = 11{,}64,$$
$$y = 50{,}00 \qquad x = 40{,}28 - (0{,}50 + 4{,}00) = 35.78,$$

причемъ положительная ось абсциссъ совпадаетъ съ продолженіемъ прямой *LM*. Это уравненіе даетъ слѣдующія соотвѣтственныя координаты:

$y = 0{,}00$	$x = 0{,}00$	$y = 18{,}75$	$x = 7{,}03$	$y = 37{,}50$	$x = 23{,}02$
$y = 6{,}25$	$x = 0{,}85$	$y = 25{,}00$	$x = 11{,}73$	$y = 43{,}75$	$x = 29{,}27$
$y = 12{,}50$	$x = 3{,}29$	$y = 31{,}25$	$x = 17{,}13$	$y = 50{,}00$	$x = 35{,}78.$

Значенія x, соотвѣтствующія значеніямъ $y = 25{,}00$, 31,25, 37,50, 43,75 и 50,00, раньше были: 11,64, 16,88, 22,70, 28,85, 35,78; эти уклоненія, какъ видно, незначительны и даютъ нѣсколько болѣе прочную профиль.

Полученные результаты даютъ профиль поперечнаго сѣченія стѣны, изображенную на фиг. 45. Изъ примѣненной формулы $a = \frac{p_m}{\gamma'}$ видно, что при одинаковомъ вѣсѣ каменной кладки стѣна можетъ быть тѣмъ выше, чѣмъ больше будетъ допускаемое давленіе къ стѣнѣ. Если допускаемое давленіе вмѣсто 6 килогр. будетъ принято въ 9 килогр. на 1 кв. сантим., то получимъ высоту стѣны $\frac{9}{6} . 50 = 75$ метр. и т. д. Но высота подпора никогда не можетъ быть больше $2a = \frac{2p_m}{\gamma'}$, такъ какъ приблизительно на глубинѣ $2a$ подъ уровнемъ воды линія давленія проходитъ черезъ средину подошвы.



Фиг. 45.

При одинаковомъ допускаемомъ наибольшемъ давленіи, въ извѣстныхъ предѣлахъ, для одной и той же высоты подпорной стѣны получается тѣмъ большая профиль стѣны, чѣмъ больше удѣльный вѣсъ каменной кладки; при приближеніи же высоты стѣны къ допускаемому ея максимуму эта зависимость больше не существуетъ. Такимъ образомъ примѣненіемъ легкой каменной кладки при небольшихъ сооруженіяхъ достигается нѣкоторое сбереженіе. Для разсмотрѣнія этого вопроса можно постоянно совѣтовать сперва начертить нѣсколько профилей и затѣмъ уже окончательно рѣшить этотъ вопросъ по соображенію съ площадью профили.

Весьма точная площадь профили, въ нижней своей части вполнѣ соотвѣтствующая вышеприведеннымъ условіямъ, можетъ быть получена по графостатическому способу. Для возможности примѣненія этого способа, сперва принимаютъ какую-нибудь профиль, для которой строятъ линіи давленія, соотвѣтствующія сжатіямъ кладки при наполненномъ и пустомъ бассейнѣ, и по результатамъ этого построенія исправляютъ принятую профиль. Затѣмъ этотъ пріемъ опять повторяется до тѣхъ поръ, пока получится желаемая точность.

Пояснимъ это примѣромъ.

Пусть *ABCDEFGHJKLM* (фиг. 46) изображаетъ собой раздѣленную на 5 поясовъ профиль стѣны длиною въ 1 метръ и пусть вѣсъ 1 кубич. метра каменной кладки составляетъ $\gamma' = 2000$ килогр. Находящаяся за стѣной подпорная вода, поднятая до высоты 50 метр., предполагается совершенно чистой, и вѣсъ 1 кубич. метра ея составляетъ 1000 килогр. Для опредѣленія направленія линіи давленія при порожнемъ бассейнѣ необходимо сперва опредѣлить вѣса отдѣльныхъ каменныхъ массивовъ стѣны. Эти вѣса будутъ:

Части стѣны I (*ABLM*). . . . . 2000. 5. 5 = 50.000 килогр. = 50,0 тонн.

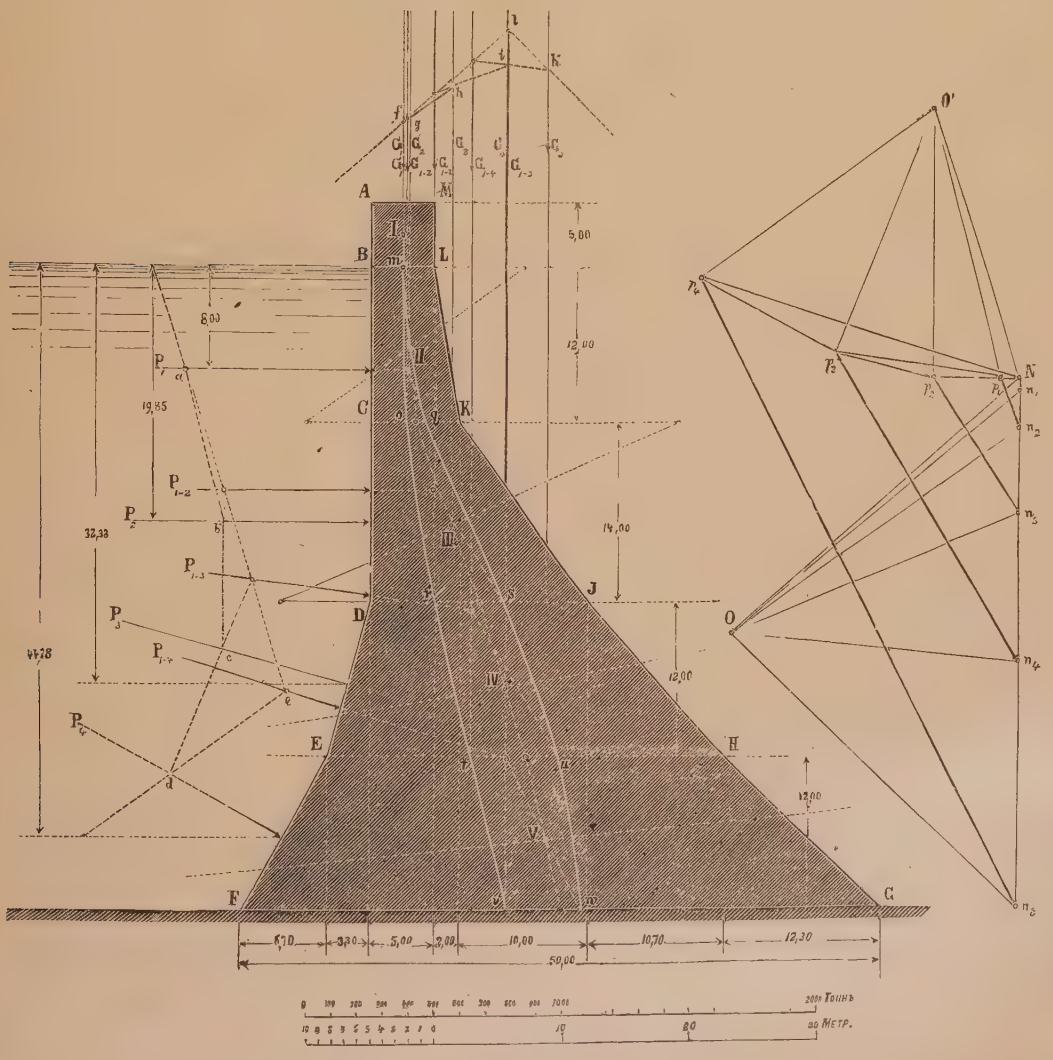
„ II (*BCKL*). . . . . 2000. $\frac{5+7}{2}$. 12 = . . . 144,0 „

„ III (*CDJK*). . . . . 2000. $\frac{7+17}{2}$. 14 = . . . 336,0 „

„ IV (*DEHJ*). . . . . 2000. $\frac{17+31}{2}$. 12 = . . . 576,0 „

„ V (*EFGH*). . . . . 2000. $\frac{31+50}{2}$. 12 = . . . 972,0 „

Точки приложенія этихъ отдѣльныхъ вѣсовъ лежатъ въ центрахъ тяжести частей *I*, *II*, *III*, *IV* и *V*, которые опредѣляются по извѣстному способу, какъ показано на чертежѣ.



Фиг. 46.

Эти силы параллельны между собой и представляютъ собой только силы тяжести, такъ что онѣ могутъ быть изображены одной вертикальной линіей: на чертежѣ вправо отъ профили онѣ нанесены на вертикальной линіи въ соотвѣтствующемъ масштабѣ силъ (въ тоннахъ) въ видѣ отрѣзковъ $Nn_1 = 50$; $n_1n_2 = 144$; $n_2n_3 = 336$; $n_3n_4 = 576$; $n_4n_5 = 972$. Затѣмъ изъ произвольной точки *O* проведены лучи къ точкамъ *N*, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5; въ построенномъ надъ профилью веревочномъ многоугольникѣ прямыя линіи $fl \parallel ON$, $fg \parallel On_1$, $gh \parallel On_2$, $hi \parallel On_3$, $ik \parallel On_4$ и

$kl \parallel On_5$ проведены до пересѣченія съ продолженными вверхъ направленіями силъ *If*, *IIg*, *IIIh*, *IVi* и *Vk*. Продолживъ стороны веревочнаго многоугольника *kihgf* по противоположному направленію, мы на протяженіи *fl* опредѣляемъ тѣ точки, черезъ которыя пройдутъ равнодѣйствующія вертикальныхъ силъ G_1, G_{1-2}, G_{1-3}, G_{1-4} и G_{1-5}; эти послѣднія, будучи продолжены въ вертикальномъ направленіи, пересѣкаютъ горизонтальныя линіи *BL*, *CK*, *DJ*, *EH* и *FG* въ точкахъ *m*, *o*, *r*, *t* и *v* линіи давленія.

При наполненномъ резервуарѣ, помимо вѣса каменной кладки, необходимо принять въ соображеніе давленія, производимыя на стѣну содержащейся въ бассейнѣ водой. Эти давленія всегда направлены перпендикулярно плоскостямъ *BC*, *CD*, *DE* и *EF*. Величины этихъ давленій, а также точки ихъ приложенія опредѣляются по общимъ законамъ гидравлики (см. отд. IV гл. 6). Ширина каждой плоскости составляетъ 1; вѣсъ воды 1000 килогр., и отдѣльныя, выраженныя въ тоннахъ, силы вычисляются:

На плоскость BC: $P_1 = 12 \cdot \frac{0+12}{2} \ldots = 72{,}00$ тоннъ

„ „ CD: $P_2 = 14 \cdot \frac{12+26}{2} \ldots = 266{,}00$ „

„ „ DE: $P_3 = \sqrt{12^2+3{,}3^2} \cdot \frac{26+38}{2} \cdot = 398{,}08$ „

„ „ EF: $P_4 = \sqrt{12^2+6{,}7^2} \cdot \frac{38+50}{2} \cdot = 604{,}56$ „

Вертикальныя разстоянія точекъ приложенія этихъ отдѣльныхъ силъ ниже уровня воды будутъ:

для силы P_1: $z_1 = \frac{2}{3} \cdot 12 = 8{,}00$ метр.

„ „ P_2: $z_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{26^3-12^3}{26^2-12^2} = 19{,}86$ „

„ „ P_3: $z_4 = \frac{2}{3} \cdot \frac{38^3-26^3}{38^2-26^2} = 32{,}38$ „

„ „ P_4: $z_4 = \frac{2}{3} \cdot \frac{50^3-38^3}{50^2-38^2} = 44{,}28$ „

Линіи, проведенныя на этихъ разстояніяхъ параллельно поверхности уровня воды своимъ пересѣченіемъ соотвѣтственно съ *BC*, *CD*, *DE* и *EF* опредѣляютъ точки приложенія этихъ силъ.

Такимъ образомъ и здѣсь опредѣлены отдѣльныя силы вмѣстѣ съ точками ихъ приложенія.

Въ построенномъ на нихъ многоугольникѣ силъ $Np_1\ p_2\ p_3\ p_4$, сторона Np_1 по величинѣ и направленію $= P_1$; сторона $p_1\ p_2$ по величинѣ и направленію $= P_2$; сторона $p_2\ p_3$ по величинѣ и направленію $= P_3$ и сторона $p_3\ p_4$ по величинѣ и направленію $= P_4$.

Для сложенія этихъ силъ проводимъ опять изъ какой-нибудь произвольной точки O′ лучи къ точкамъ *N*, p_1, p_2, p_3 и p_4 и затѣмъ строимъ показанный влѣво отъ профиля веревочный многоугольникъ, стороны котораго $ac \parallel O'N$, $ab \parallel O'p_1$, $bc \parallel O'p_2$, $cd \parallel O'p_3$ и $de \parallel O'p_4$ проведены до пересѣченія съ соотвѣтственными отдѣльными силами. Продолжая стороны этого веревочнаго многоугольника по противоположному направленію, мы получаемъ на линіи *ac* точки пересѣченія, черезъ которыя должны пройти равнодѣйствующія давленія воды, изображаемыя по величинѣ и направленію линіями Np_1, Np_2, Np_3 и Np_4 и обозначенныя на чертежѣ линіями P_1, P_{1-2}, P_{1-3}, P_{1-4}. Продолжая ихъ во внутрь профили до пересѣченія съ вертикальными силами тяжести частей стѣны G_1, G_{1-2}, G_{1-3}, G_{1-4} и G_{1-5}, получаемъ точки, черезъ которыя должны пройти равнодѣйствующія всей системы силъ.

Нетрудно опредѣлить эти точки.

Линіи p_1n_2, p_2n_3, p_3n_4, и p_4n_5 по величинѣ и направленію изображаютъ собой равнодѣйствующія изъ силъ давленія воды и вѣса кладки для частей профили *BCKL*, *CDJK*, *DEHJ* и *EFGH*.

Если черезъ точку пересѣченія силъ P_1 и G_{1-2} проведемъ линію, параллельную p_1n_2, то она пересѣкаетъ горизонтальную линію *CK* въ точкѣ *q* линіи давленія для случая наполненнаго бассейна; точно также проведенная черезъ точку пересѣченія P_{1-2} съ G_{1-3} линія, параллельная p_2n_3, дастъ на *DJ* точку *s*; проведенная черезъ точку пересѣченія P_{1-3} съ G_{1-4}

линія, параллельная p_3n_4, даетъ на EH точку u; наконецъ, проведенная черезъ точку пересѣченія P_{1-4} съ G_{1-5} линія, параллельная p_4n_5, даетъ на линіи FG точку w.

Соединеніе точекъ $mortv$ и соотвѣтственно точекъ $mqsuw$ даетъ намъ линіи давленія при пустомъ и наполненномъ сборномъ бассейнѣ, и такъ какъ величины и направленія равнодѣйствующихъ намъ извѣстны, то нетрудно вычислить давленія на швы стѣны.

При пустомъ резервуарѣ, напр., сила G_{1-3} изображаетъ собой вертикальное давленіе въ точкѣ r; величина $u=Dr$ представляетъ собой разстояніе этой точки отъ ребра стѣны, а длина DJ будетъ l; тогда, какъ намъ извѣстно, давленіе въ точкѣ D, пока $u < \frac{l}{3}$ будетъ

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{G_{1-3}}{u};$$

если же $u > \frac{l}{3}$, то давленіе будетъ

$$p = 2\left(2 - \frac{3u}{l}\right) \frac{G_{1-3}}{l}.$$

Отсюда мы видимъ, что, пока линія давленія проходитъ точно черезъ треть линіи DJ. давленіе по обѣимъ формуламъ $\left(\text{при } u = \frac{l}{3}\right)$ будетъ

$$p = \frac{2G_{1-3}}{l}.$$

Если бы точка r была расположена въ срединѣ линіи DJ, то было бы $u = \frac{l}{2}$, и давленіе было бы распредѣлено равномѣрно и составляло бы:

$$p = 2\left(2 - \frac{3l}{2l}\right) \frac{G_{1-3}}{l} = \frac{G_{1-3}}{l}.$$

Слѣдовательно, давленіе составляло бы только половину той величины, какую оно имѣло при предыдущемъ положеніи.

Изъ чертежа также видно, что съ водяной стороны профиль стѣны въ точкѣ D оказывается неправильной, такъ какъ разстояніе Dr меньше $\frac{DJ}{3}$, вслѣдствіе чего давленіе въ точкѣ D достигаетъ весьма большой величины, и въ точкѣ J являются растягивающія усилія, что должно быть устранено. Затѣмъ вычерчиваютъ другую профиль, въ которой линія CD наклонена къ вертикали. Какъ затѣмъ дальше поступать съ новой профилью, ясно изъ предыдущаго.

Само собой разумѣется, что въ практикѣ при вычерчиваніи подобныхъ профилей слѣдуетъ выбирать по возможности меньшія вертикальныя разстоянія между швами (т. е. разбить профиль на большее число поясовъ); мы приняли большія разстоянія для полученія болѣе яснаго чертежа. Легко видѣть также, что получаемые по чертежу размѣры могутъ быть не только отложены циркулемъ, но весьма просто вычисляются соотвѣтственно чертежу, что во многихъ случаяхъ весьма важно, такъ какъ направленія пересѣкающихся между собой линій весьма мало разнятся другъ отъ друга.

Если разложимъ силы p_1n_2, p_2n_3, p_3n_4, p_4n_5 (фиг. 46) на горизонтальныя и вертикальныя ихъ составляющія и обозначимъ послѣднія черезъ V, а первыя черезъ W, то всегда должно быть соблюдено условіе:

$$W < 0{,}75\ V,$$

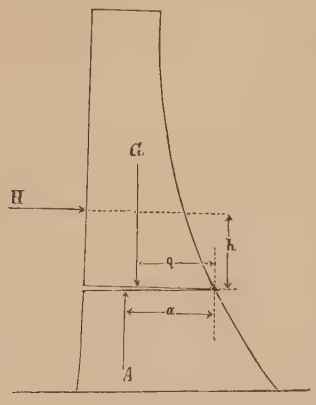
т. е. горизонтальный распоръ стѣны нигдѣ не долженъ достигать $^3/_4$ вертикальнаго давленія, такъ какъ въ противномъ случаѣ является опасность отъ сколженія слоевъ. Поперечное сѣченіе стѣны должно быть изслѣдовано и въ этомъ отношеніи.

Представимъ себѣ, что отдѣльные слои стѣны не имѣютъ сцѣпленія между собой, и что вся подпорная стѣна лежитъ на фундаментѣ безъ раствора т. е не прилипая къ нему; въ такомъ случаѣ, само собой разумѣется. моментъ напора воды относительно ребра опрокидыванія со стороны долины долженъ быть меньше отнесеннаго къ тому же ребру момента верти-

кальныхъ силъ давленія, Если затѣмъ для большей безопасности примемъ, что въ стѣнѣ возможно открываніе шва, а слѣд. образованіе поднимающей силы A, какъ показано на фиг. 47, то необходимо должно быть соблюдено условіе:

$$Gg > Aa + Hh.$$

Дѣйствующая въ швѣ поднимающая сила A и ея точка приложенія могутъ быть опредѣлены только при опредѣленныхъ извѣстныхъ предположеніяхъ. По мнѣнію Фехта, въ томъ швѣ стѣны, въ которомъ подъ дѣйствіемъ полной нагрузки линія давленія большей частью приближается къ трети шва со стороны долины, поднимающая сила или давленіе снизу вверхъ должна быть вычислена въ томъ предположеніи, что она въ примыкающей къ водѣ части шва соотвѣтствуетъ полному давленію воды и постепенно и правильно уменьшается до нуля по направленію къ ребру опрокидыванія со стороны долины. Вслѣдствіе этого поднимающая сила A, дѣйствующая во всемъ швѣ, изобразится въ видѣ треугольника, причемъ простымъ построеніемъ могутъ быть опредѣлены величины A и a.



Фиг. 47.

Если сложить силы A и G, то получается другая точка приложенія равнодѣйствующей всей этой системы силъ, при чемъ эта равнодѣйствующая получаетъ меньшій наклонъ къ горизонтали и вообще пересѣкаетъ площадь подошвы въ точкѣ, ближе лежащей къ наружному краю стѣны. Вмѣстѣ съ этимъ величина равнодѣйствующей, наоборотъ, уменьшается. Несмотря на это, можетъ оказаться необходимость въ увеличеніи профили, если принять въ соображеніе то условіе, чтобы равнодѣйствующая пересѣкала шовъ въ предѣлахъ первой трети ширины профили.

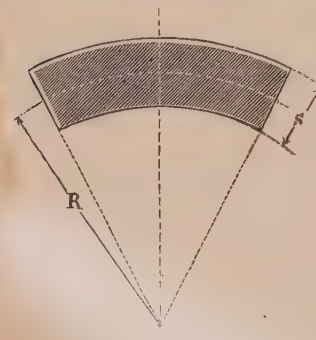
Необходимо здѣсь еще замѣтить, что всѣ эти вычисленія должны быть произведены для наивысшаго, возможнаго при данной запрудѣ, уровня воды, въ сборномъ бассейнѣ; этотъ уровень воды имѣетъ мѣсто въ случаѣ наступленія половодья при наполненномъ бассейнѣ, при чемъ для стока высокихъ водъ требуется извѣстная высота надъ гребнемъ водослива.

Подпорная стѣна въ планѣ должна во всякомъ случаѣ имѣть видъ подпорной арки съ выпуклостью обращенной къ водяной сторонѣ; только при такой формѣ стѣны въ ней уничтожаются изгибающія натяженія вслѣдствіе упругости стѣны и устраняются вертикальныя усадочныя трещины, происходящія въ стѣнахъ значительной длины вслѣдствіе сжатія каменной кладки отъ измѣненія температуры.

Если желательно все производимое водой на стѣну давленіе перенести на боковыя опоры, то на глубинѣ h подъ уровнемъ воды между упомянутыми величинами съ приблизительной точностью должна существовать зависимость

$$\gamma hR = ps,$$

гдѣ γ—удѣльный вѣсъ воды, p—среднее давленіе на плоскость стѣны.



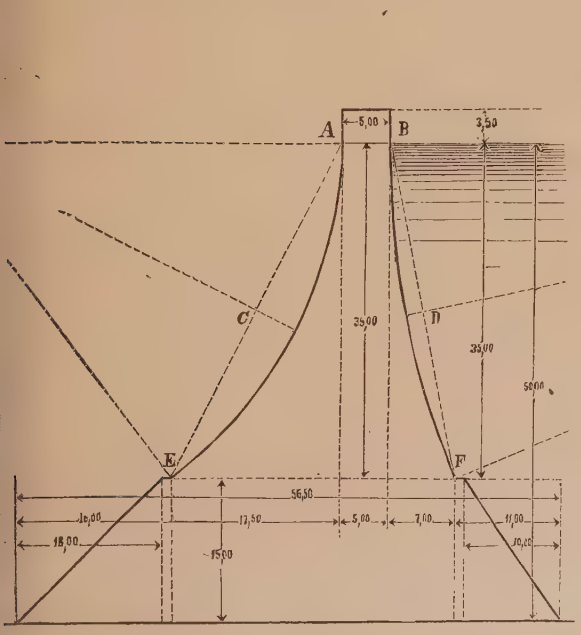
Фиг. 48.

Принявъ $\gamma=1000$, $p=60000$ и наименьшую величину $s=\frac{h}{3}$, получаемъ R=20 метр. (ф. 48). Но съ другой стороны эта кривая нисколько не препятствуетъ дѣйствію собственнаго вѣса кладки, которое направлено вертикально, а слѣд. не можетъ быть перенесено на боковыя опоры.

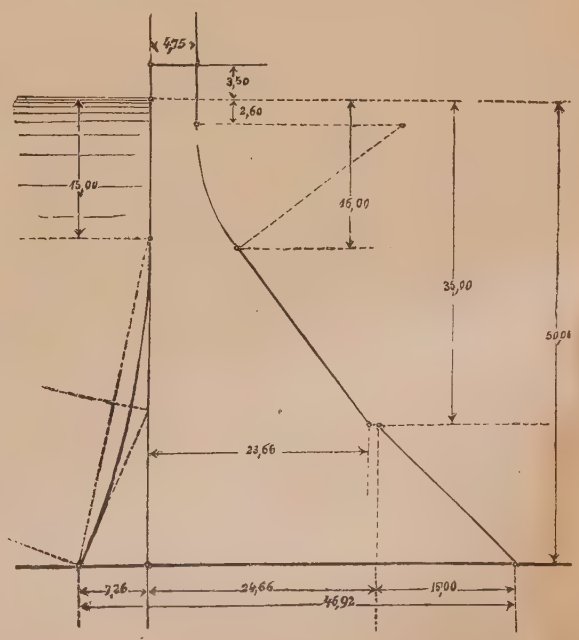
Не слѣдуетъ, однако, упускать изъ виду, что при вычисленіи величины профили всегда необходимо принимать въ разсчетъ давленіе воды, не смотря на кривизну стѣны; гораздо раціональнѣе въ арочной формѣ стѣны видѣть исключительно только стремленіе къ большей надежности и прочности всего сооруженія. Встрѣчаются также подпорныя стѣны, усиленныя столбами или устоями

(плотина при Gros-Bois). Подобные столбы имѣютъ смыслъ лишь тогда, когда расположенная между ними стѣна въ планѣ имѣетъ закругленную форму, при которой давленіе отъ значительной поверхности стѣны переносится на столбы. Въ подобныхъ случаяхъ расположенная между столбами стѣна въ вершинѣ закругленія можетъ имѣть только такую толщину, которая лишь достаточна для принятія на себя вертикальнаго давленія. Но при этомъ стѣна должна быть устроена съ радіальными вертикальными швами между камнями; вслѣдствіе такого расположенія швовъ и болѣе значительной наружной поверхности, стоимость ея оказывается гораздо выше стоимости прямой стѣны (считая цѣну на единицу), независимо даже отъ довольно крупныхъ размѣровъ, требуемыхъ столбами. Такимъ образомъ подобной конструкціей можно достигнуть экономической выгоды лишь въ томъ случаѣ, если она замѣтно уменьшаетъ кубическое содержаніе стѣны; но это уменьшеніе никогда не достигаетъ такой величины, при которой она покрывала-бы собой излишнюю стоимость единицы кладки. Если же стѣна между столбами оставляется безъ закругленія (какъ это сдѣлано при плотинѣ у Gros-Bois), то она должна имѣть такую же толщину, какъ и при отсутствіи столбовъ; послѣдніе такимъ образомъ вызываютъ только излишній ненужный расходъ, нисколько не препятствуя обрушенію стѣны, если она не имѣетъ размѣровъ, требуемыхъ при отсутствіи столбовъ.

Считаемъ нелишнимъ здѣсь упомянуть о предложенныхъ Кранцомъ простыхъ нормальныхъ данныхъ, на основаніи которыхъ можно весьма быстро и легко получить требуемую профиль подпорной стѣны; такія же нормальныя данныя въ видѣ таблицы приведены также въ сочиненіи Круньола (см. выше въ выноскѣ). На фиг. 49 и 50 приведены для сравненія полученныя по даннымъ обоихъ этихъ авторовъ профили стѣны, при глубинѣ воды



Фиг. 49.



Фиг. 50.

равной 50 метр. Изъ нихъ фиг. 49 изображаетъ профиль по Кранцу. Дуги AE и BF представляютъ собой дуги круговъ, радіусы которыхъ опредѣляются обозначенными на чертежѣ числами, а также и тѣмъ условіемъ, что точки A и B суть точки касанія. Перпендикуляры, возставленные изъ точекъ C и D, своими пересѣченіями съ линіей уровня воды опредѣляютъ соотвѣтственные центры дугъ. Фиг. 50 изображаетъ профиль по Круньола; и здѣсь

расположенныя между прямыми линіями дуги представляютъ собой дуги круговъ, радіусы которыхъ опредѣляются приведеннымъ на чертежѣ построеніемъ.

Этими данными можно руководствоваться при предварительномъ выборѣ профили. Но мы съ своей стороны особенно настаиваемъ на томъ, чтобы, по какому-бы способу ни произведено предварительное опредѣленіе профили, она непремѣнно была бы вычерчена, и по ней была бы построена линія давленій для пустого и наполненнаго бассейна. Только графическимъ путемъ, который, замѣтимъ мимоходомъ, довольно не сложенъ и не занимаетъ много времени, можно получить вполнѣ ясное представленіе о статической цѣлесообразности выбранной профили и о необходимыхъ въ ней исправленіяхъ.

Во всѣхъ вышеприведенныхъ вычисленіяхъ мы разсматривали постоянно стѣны длиною 1 метръ, принимая, что длина стѣны не имѣетъ вліянія на профиль. По изложеннымъ выше соображеніямъ теоретически это предположеніе совершенно правильно. Но мы рѣшительно держимся того мнѣнія, что стѣны выдерживающія давленіе большихъ массъ воды, съ увеличеніемъ ихъ длины должны быть сдѣланы также и толще. Это мнѣніе основано на томъ обстоятельствѣ, что при подвижной водѣ въ прудѣ вслѣдствіе волненія длинная стѣна подвергается дѣйствію весьма сильныхъ ударовъ и сотрясеній, которые мы не въ состояніи вычислять, но которые вмѣстѣ съ тѣмъ не должны быть упущены изъ виду при опредѣленіи профили.

Плотины иного типа. Легко понять, что искусственные водяные резервуары могутъ быть образованы и другими способами помимо земляныхъ или каменныхъ плотинъ. Такъ, напр., при скалистой подпочвѣ плотина довольно большой высоты можетъ быть изготовлена изъ положенныхъ другъ на друга деревянныхъ брусьевъ, укрѣпленныхъ на извѣстныхъ разстояніяхъ забитыми въ грунтъ вертикальными желѣзными сваями. Эти сваи со стороны долины образуютъ собой упорные столбы или контрфорсы для плотины.

Плотины изъ дерева и камня очень часто примѣняются для образованія прудовъ для сплава лѣса и проч., и нѣтъ никакихъ основаній безусловно отвергать ихъ примѣненіе и для цѣлей водоснабженія; очень часто въ силу необходимости и при ограниченныхъ средствахъ приходится прибѣгать къ такимъ и имъ подобнымъ недорогимъ средствамъ. Эти сооруженія никогда не бываютъ достаточно водонепроницаемы, весьма трудно поддаются исправленію или даже совсѣмъ его не допускаютъ, и поэтому они становятся тѣмъ опаснѣе, чѣмъ больше времени находятся въ дѣйствіи; это необходимо принять въ соображеніе до начала ихъ сооруженія.

Были также сдѣланы опыты одновременнаго примѣненія земляныхъ насыпей вмѣстѣ съ каменными стѣнами для образованія плотинъ: земляныя насыпи для противодѣйствія горизонтальному давленію воды, а каменныя стѣны—для образованія непроницаемой одежды и для предохраненія этихъ земляныхъ насыпей. Опыты съ подобными сооруженіями дали весьма неудовлетворительные результаты; во всѣхъ подобныхъ сооруженіяхъ, какъ было упомянуто выше, преимущественно вдоль вертикальныхъ плоскостей стѣнъ обнаруживаются течи, которыя при нѣкоторыхъ условіяхъ могутъ принять довольно крупные размѣры, сильно угрожающіе цѣлости всего сооруженія.

Устройство значительной вышины плотинъ изъ желѣза, насколько намъ извѣстно, до сихъ поръ еще не испытано; точно также имѣется весьма мало опытовъ примѣненія для этой цѣли такъ называемой системы Монье.

Приспособленія для дѣйствія плотинъ. При каждой плотинѣ для исправнаго ея дѣйствія требуются слѣдующія приспособленія:

1. Приспособленія противъ дѣйствія мороза и прибоя волнъ;
2. Самодѣйствующій водосливъ (для спуска высокихъ водъ);
3. Водопускъ на днѣ водохранилища;
4. Водопріемное приспособленіе со спускной трубой (спускной каналъ);
5. Приспособленія для осмотра плотины во всѣхъ ея частяхъ;
6. Приспособленія для управленія сообщеніемъ по пруду.

Помимо этихъ главныхъ общихъ требованій, въ назначенныхъ спеціально для водоснабженія плотинахъ можетъ еще потребоваться приспособленіе для удержанія мутныхъ или съ содержаніемъ песку притоковъ: кромѣ того въ нѣкоторыхъ случаяхъ должны быть еще удовлетворены побочныя условія, какъ напр., проводъ воды въ фабрики, распредѣленіе всего расхода изъ пруда, устройство ходовъ для рыбы и проч., которые требуютъ особыхъ техническихъ приспособленій. Наконецъ, слѣдуетъ еще всегда имѣть необходимыя средства для небольшихъ исправленій плотины; желательно также имѣть телеграфное (или телефонное) сообщеніе съ ниже лежащимъ селеніемъ.

Морозы производятъ весьма вредное дѣйствіе, преимущественно на земляныя плотины. Такъ какъ подобныя плотины всегда бываютъ влажны вслѣдствіе инфильтраціи, происходящей отъ запруженной воды, то при замерзаніи могутъ обнаружиться тѣ недостатки, какъ, напр., трещины, щели, отрыванія частицъ земли и проч., которые обыкновенно вызываются увеличеніемъ объема замерзающей воды и ударами льда. Для сухой земли замерзаніе менѣе вредно. Поэтому подъ наружными, не снабженными каменной одеждой, а только облицованными дерномъ, откосами плотинъ очень часто устраиваютъ дренажи, уложенные на глуб. 1,2 метр. Внутренніе откосы земляныхъ плотинъ снабжаются облицовкой или одеждой, назначенной для противодѣйствія ударамъ льдинъ и прибою волнъ. Но эта облицовка, подобно облицовкѣ русла рѣки, не должна быть выложена на сухо, а должна быть выполнена изъ положенной на гидравлическомъ или цементномъ растворѣ вполнѣ непроницаемой каменной кладки съ плотно залитыми швами между камней. Этой цѣли наиболѣе удовлетворяютъ по возможности тяжелые большіе камни съ неправильной перевязкой (циклопической); подобная облицовка по возможности должна быть сдѣлана, по крайней мѣрѣ, на тѣхъ полосахъ откосовъ, которыя наиболѣе подвержены дѣйствію ударовъ волнъ. Начиная съ глубины 3 метр. подъ уровнемъ воды и дальше сила волнъ уменьшается, и отъ этой глубины до самой подошвы пруда облицовка можетъ быть сдѣлана изъ болѣе мелкихъ камней.

Высота прибоя волнъ зависитъ отъ различныхъ причинъ, между которыми первое мѣсто занимаютъ направленіе и сила вѣтра, длина пруда и глубина его или форма его подошвы; но между этимъ явленіемъ и вызывающими его причинами невозможно найти какія-либо правильныя соотношенія.

Минаръ [1]) въ своемъ сочиненіи приводитъ примѣры волнъ, поднявшихся на 3 метра надъ уровнемъ пруда въ Chazilly, хотя послѣдній былъ не длиннѣе 1500 метр. и не глубже 20 метр. Въ прудѣ при Серсеѣ, наибольшая ширина котораго составляетъ 900 метр., а глубина 10 метр., волны подымаются на высоту 2 метр.

Стивенсонъ [2]) даетъ эмпирическую формулу для опредѣленія высоты волнъ, которая въ переводѣ на метрическія мѣры имѣетъ видъ:

$$h = 0{,}76 + 0{,}0106\ \sqrt{E} - 0{,}0465\ \sqrt[4]{E}$$

гдѣ h означаетъ высоту волны, а E—разстояніе навѣтреннаго берега, отъ котораго волна начинается,—выраженныя въ метрахъ.

Производимый волнами ударъ обнаруживается гораздо энергичнѣе на отлогихъ откосахъ плотинъ, нежели на вертикальныхъ стѣнахъ.

Существующая въ волнѣ энергія въ послѣднемъ случаѣ главнымъ образомъ расходуется на работу отката волны и ея паденія; въ первомъ же случаѣ она почти исключительно

---

[1]) Minard. Cours de construction. Paris. 1841.

[2]) Stevenson, T. Design and construction of harbours. Edinburgh. 1886.

служитъ для преодолѣнія работы тренія по отлогому откосу. Поэтому въ откосахъ волны постоянно вызываютъ болѣе сильныя натяженія, нежели въ вертикально стоящихъ подпорныхъ стѣнахъ.

Въ большихъ не очень глубокихъ прудахъ (5–10 метр.) съ длинными земляными плотинами откосы со стороны воды на высотѣ по меньшей мѣрѣ 2 метр., а при болѣе глубокихъ, по крайней мѣрѣ, на 3 метр. надъ наивысшимъ уровнемъ воды слѣдуетъ облицовать тяжелыми большими камнями, уложенными на гидравлическомъ растворѣ. Мы совѣтуемъ въ этомъ отношеніи идти нѣсколько дальше и при всѣхъ обстоятельствахъ придавать гребню плотины высоту надъ наивысшимъ уровнемъ воды.

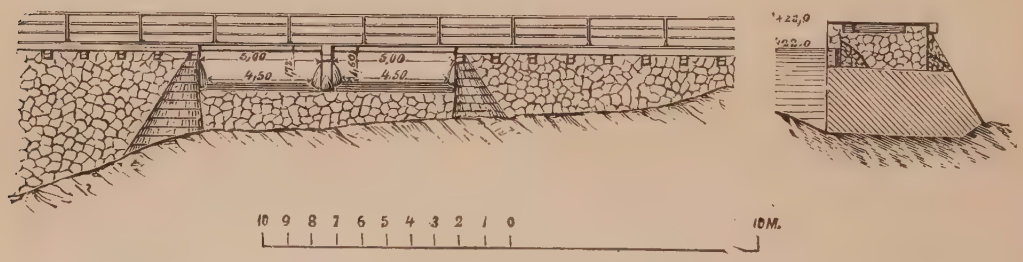
$$h_0 = 3{,}00 + 0{,}075 h_1,$$

гдѣ h_1, означаетъ наибольшую глубину водохранилища предъ плотиной, и всѣ размѣры выражены въ метрахъ. Если h_1 больше 20 метр., то h_0 остается постоянной и всегда дѣлается 4,5 метр. Если полученная при этомъ высота окажется больше первоначально предположенной, то первоначальная стоимость, конечно, во всякомъ случаѣ увеличится; но съ другой стороны существованію плотины угрожаетъ весьма большая опасность, если при ея устройствѣ не выбрали правильной ея высоты, опредѣляемой, къ сожалѣнію, обыкновенно приблизительными соображеніями, такъ какъ ничто такъ не разрушаетъ плотины, какъ переливаніе волнъ. Обмываемая переливающимися волнами плотина можетъ считаться пропавшей.

Величина превышенія каменныхъ плотинъ приведена нами выше. Что же касается способа выполненія стѣнъ съ наводной стороны для противодѣйствія ударамъ волнъ и льдинъ то гладкія плоскости до брустверa оказываются наиболѣе удовлетворительными. Ниже на ф. 57 показана наводная сторона подпорной стѣны вмѣстѣ съ брустверами по Кранцу.

Само собой разумѣется, что дѣйствіе мороза на хорошо устроенную подпорную стѣну менѣе вредно, нежели на земляную плотину. Главнымъ образомъ здѣсь имѣютъ значеніе послѣдствія пробивки ледянаго покрова замерзшаго пруда вдоль плотины зимой для безпрепятственнаго стока воды изъ пруда. При вертикальной стѣнѣ удаленіе льда до уровня воды производится гораздо легче и при нѣкоторой осторожности не вызываетъ такихъ поврежденій, какъ при отлогихъ откосахъ.

2. Самодѣйствующіе водосливы (для стока высокихъ водъ) устраиваются различнымъ образомъ и имѣютъ цѣлью препятствовать водѣ въ водохранилищѣ подняться выше извѣстнаго уровня. Наиболѣе часто встрѣчаемое и вмѣстѣ съ тѣмъ наиболѣе простое устройство представляетъ собой поверхностный водосливъ, изображенный на фиг. 51 и при-



Фиг. 51. Водосливъ для высокихъ водъ въ Альфельдской плотинѣ.

мѣненный къ плотинѣ въ Альфельдѣ. Порогъ водослива долженъ быть расположенъ глубже наибольшей допускаемой въ прудѣ высоты воды.

Если принять, какъ это дѣлается въ Англіи, что каждому квадр. километру области осадковъ даннаго пруда соотвѣтствуетъ около 2,5 метр. ширины водослива, то увидимъ, что даже при самой высокой водѣ уровень пруда подымается приблизительно на 80 сантим. выше порога водослива. Въ Альфельдской плотинѣ, область осадковъ которой составляетъ 4,2 квадр. километр., оказалась достаточной ширина водослива въ 2,15 метр. на каждый квадр. километръ. Впрочемъ, зная количество высокихъ водъ, приходящееся на каждую квадратную единицу области пруда при данныхъ мѣстныхъ условіяхъ, нетрудно опредѣлить требуемую ширину водослива въ каждомъ данномъ случаѣ.

Если черезъ A обозначимъ область осадковъ въ квадратныхъ километрахъ, m—число, на которое слѣдуетъ помножить A для полученія количества притекающихъ высокихъ водъ

въ куб. метрахъ въ секунду, то при глубинѣ порога водослива подъ наивысшимъ допускаемымъ уровнемъ воды въ c метр. ширина водослива a будетъ

$$a = \frac{2}{5} \cdot \frac{m\,A}{\sqrt{c^3}},$$

при чемъ предположено, что въ водосливѣ происходитъ мало замѣтное боковое сжатіе струи, и что водосливъ имѣетъ значительную ширину. Въ областяхъ съ водонепропускающими грунтами величина m колеблется между 1,0 и 4,0; принявъ c=0,8 метр. и A=1 квадр. километру, получаемъ

при m=1,0. . . a_1=0,56 метр.,
при m=4,0. . . a_1=2,24 „

и $a = Aa_1$.

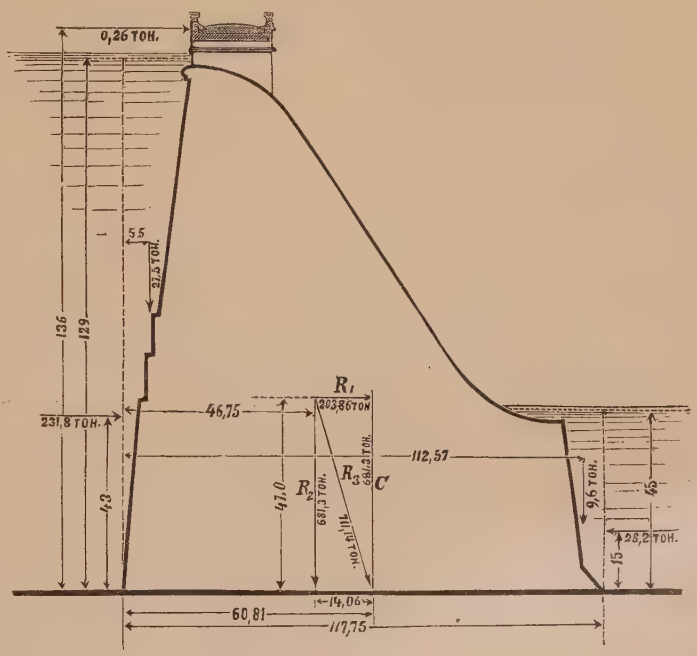
Вслѣдствіе нѣкотораго произвола въ допущеніяхъ и зависимости примѣняемыхъ формулъ гидравлики отъ конструктивной формы водослива, ширина его не можетъ быть вычислена совершенно точно. Во всякомъ случаѣ ее не слѣдуетъ дѣлать слишкомъ малой. Чѣмъ больше и водонепроницаемѣе область осадковъ, тѣмъ меньше будетъ величина m, и обратно. [1])

При подпорныхъ стѣнахъ незначительной длины и сравнительно большихъ областяхъ осадковъ требуемые водосливы иногда получаются такой ширины, что необходимо придать всей стѣнѣ видъ водослива. Подобный случай имѣлъ мѣсто, напр., въ построенной для г. Ливерпуля плотинѣ Virnwy, поперечный разрѣзъ которой изображенъ на фигурѣ 52.

Въ этихъ случаяхъ подпорная стѣна должна быть сложена весьма прочно изъ тесаныхъ камней. Если оказывается достаточной незначительная ширина водослива, то ее обыкновенно распредѣляютъ по обѣ стороны плотины тамъ, гдѣ послѣдняя примыкаетъ къ материку, или же водосливъ устраиваютъ съ одной стороны плотины, какъ показано на фиг. 52.

Устройство съ двумя водосливами, расположенными у береговъ долины по обоимъ концамъ подпорной стѣны видно въ плотинѣ при Gilepre.

Заложеніемъ водослива у подошвы плотины высота паденія воды уменьшается до minimum'a. Въ этомъ случаѣ примѣняютъ водоотводный каналъ, который непосредственно подъ подпорной стѣной впадаетъ въ старое рѣчное русло, или же выкапывается въ берегахъ долины и направляется дальше.



Фиг. 52. Устройство плотины на долинѣ Вирнви. (Написанные размѣры выражены въ англ. футахъ и тоннахъ).

Менѣе цѣлесообразныя устройства встрѣчаются въ нѣкоторыхъ Алжирскихъ плотинахъ (Tlélat, Dijonia), въ которыхъ сливающаяся вода съ нагорной стороны, гдѣ расположенъ водосливъ, направляется въ старое рѣчное русло вдоль подошвы откосовъ подпорной стѣны.

Весьма совершенное устройство для отвода высокой воды, при которомъ окончательно устранено обратное ея поступленіе въ сборный бассейнъ, и при чемъ устроенъ особый водосливъ, встрѣчаемъ въ прудѣ при Сентъ-Этьенѣ, болѣе подробное описаніе котораго приведено нами ниже.

---

[1]) Lueger. Ueber Entstehung und Verlaut von Hochfluten. Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1885.

Въ плотинахъ у Миттергсейма (въ Эльзасѣ) и Сентъ-Христофа при Марселѣ (во Франціи) для отвода излишней воды изъ сборныхъ прудовъ устроены самодѣйствующіе сифоны. Они состоятъ изъ большихъ изогнутыхъ желѣзныхъ трубъ, высасывающихъ воду изъ пруда, какъ только уровень ея превышаетъ извѣстный предѣлъ. У нижняго конца большой трубы по другой соединенной съ ней меньшей трубкѣ начинается стокъ воды тотчасъ же послѣ наступленія указаннаго превышенія ея уровня. Вслѣдствіе этого въ большой изогнутой трубѣ получается разрѣженное пространство, и она начинаетъ дѣйствовать въ качествѣ сифона. Когда уровень воды опять приходитъ въ нормальное состояніе, черезъ меньшую трубку воздухъ поступаетъ въ сифонъ, чѣмъ прекращается всасывающее его дѣйствіе. Это устройство весьма раціонально и на практикѣ оказалось вполнѣ удовлетворительнымъ; но для отвода большихъ количествъ воды стоимость подобнаго сооруженія получается весьма значительной, и это служитъ главной причиной столь малаго распространенія этой системы.

Если запруда состоитъ изъ земляной плотины, то водосливъ никогда не слѣдуетъ устраивать въ самой плотинѣ, а всегда располагаютъ его сбоку. Для этой цѣли обыкновенно пользуются долины съ правой или лѣвой стороны плотины; каналъ для отвода высокихъ водъ устраивается въ материкѣ, и вода проводится черезъ плотину обыкновенно по закрытому каналу-туннелю или по большимъ трубамъ.

3. Водоспускъ въ днѣ пруда, (служащій одновременно и для промывки, необходимо требуется въ каждомъ прудѣ для возможности исполненія могущихъ понадобиться въ немъ исправленій, а также и для возможности чистки бассейна и освобожденія его отъ ила, песку и проч. Иногда водоспускъ служитъ также для періодическаго или постояннаго попуска опредѣленныхъ количествъ воды въ запруженный плотиной водяной потокъ. Это водоспускное отверстіе устраивается или въ самой запрудѣ (подпорной стѣнѣ или земляной плотинѣ) или же проводится сбоку плотины черезъ материкъ. Послѣднее расположеніе хотя и дороже, но несомнѣнно представляетъ собой наилучшее устройство, которое безусловно должно быть примѣнено при земляныхъ плотинахъ; только этимъ путемъ плотина получается нераздѣльной и вполнѣ однородной. Сама цѣль этого устройства показываетъ, что оно должно имѣть свое начало въ наиболѣе глубокой точкѣ водохранилища; вслѣдствіе большой скорости теченія, образуемой значительной высотой напора воды, стѣнки послѣдняго должны обладать вполнѣ достаточной прочностью. На это обстоятельство необходимо обратить вниманіе при устройствѣ водоспуска; въ каналахъ изъ каменной кладки для этой цѣли рекомендуется облицовка изъ тесаныхъ камней.

Сопряженная съ устройствомъ водоспуска опасность возрастаетъ съ величиной выпускнаго отверстія. Съ другой стороны послѣднее должно быть тѣмъ больше, чѣмъ болѣе дѣйствительнаго и быстраго промыванія желаютъ достигнуть черезъ водоспускное отверстіе. Только въ тѣхъ случаяхъ, когда водоспускъ примѣняется исключительно для опоражниванія пруда, выпускное отверстіе можетъ быть сдѣлано меньше; впрочемъ, и здѣсь существуетъ извѣстный предѣлъ, такъ какъ для опоражниванія пруда желательно тратить по возможности меньше времени.

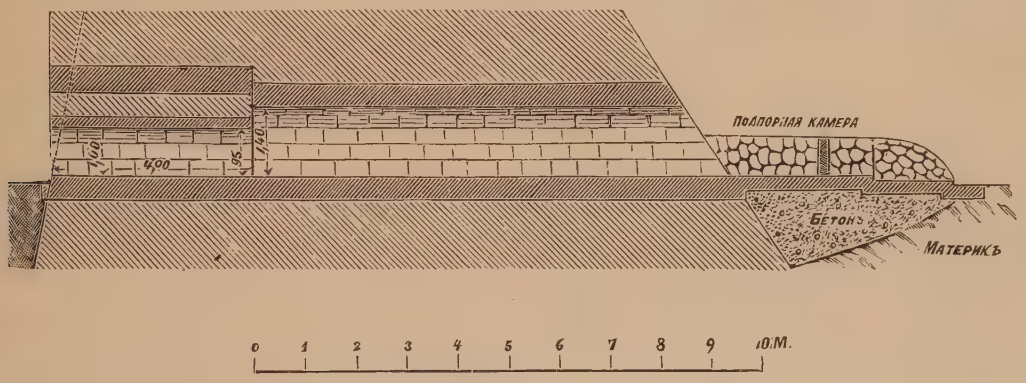
Затворы водоспускныхъ отверстій въ днѣ пруда обыкновенно устраиваются со стороны плотины, обращенной къ водѣ, и состоятъ либо изъ щитовъ, либо изъ запорныхъ брусьевъ уложенныхъ въ пазахъ стоекъ, либо, наконецъ, изъ подвижныхъ воротъ.

Во всѣхъ водоспускныхъ устройствахъ, не предназначенныхъ для промывки пруда, прочно устроенные щитовые затворы должны предпочитаться всякимъ другимъ затворамъ. Но если водоспускное отверстіе должно служить для промывки пруда, а слѣдовательно должно быть сравнительно велико, этотъ затворъ можетъ быть примѣненъ лишь тогда, когда онъ легко можетъ быть поднятъ въ случаѣ надобности, что обыкновенно не имѣетъ мѣста. Чѣмъ быстрѣе открывается выпускное отверстіе, тѣмъ энергичнѣе происходитъ промывка дна водохранилища, и обратно. При машинномъ приспособленіи этому требованію до нѣкоторой степени могутъ удовлетворять также и щитовые затворы; однако быстрое открываніе отверстія достигается проще и быстрѣе затворомъ изъ подъемныхъ брусьевъ или затворомъ со съемнымъ подкосомъ. *)

*) Затворы изъ подъемныхъ брусьевъ имѣются въ большей части старыхъ испанскихъ плотинъ, а также въ плотинѣ Гамицъ въ Алжирѣ; послѣдняя, а также и плотины при Эльхе (въ Испаніи), снабжены предохранительными галлереями для защиты рабочихъ, открывающихъ затворъ. Воротнымъ затворомъ снабжена плотина при Маренго. Для быстраго поднятія щитоваго затвора новая плотина при Пуэнтесѣ (въ Испаніи) снабжена паровой машиной, а плотина Вилларъ для этой цѣли снабжена водостолбовой машиной.

Такъ какъ служащія для цѣлей водоснабженія водохранилища должны стремиться къ полученію по возможности чистыхъ притоковъ, то въ этихъ случаяхъ почти безъ исключенія примѣняются щитовые затворы водоспускныхъ отверстій въ днѣ пруда. Поэтому мы сперва ограничимся описаніемъ одного изъ подобныхъ затворовъ, устроеннаго при Альфельдской плотинѣ. Водоспускъ съ щитовыми затворами будетъ описанъ нами ниже при описаніи водохранилища „Reservoire du Gouffre d'Enfer."

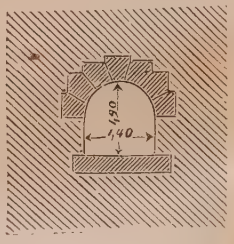
Устройство водоспускнаго отверстія въ днѣ пруда въ Альфельдской плотинѣ показано на фиг. 53—56. Со стороны воды оно состоитъ изъ двухъ сводчатыхъ каналовъ высот. 0,95 метр. и шир. 0,5 метр. Эти два меньшихъ канала соединяются съ большимъ сводчатымъ каналомъ шир. и выс. по 1,4 метр., продольный разрѣзъ котораго изображенъ на фиг. 53, а поперечный на ф. 54. Эти выпускные каналы проходятъ сквозь стѣну до наружной ея поверхности (со стороны долины); по всему своему протяженію эти каналы выложены изъ большихъ тесаныхъ камней. Подошва выпускного канала расположена горизонтально и при выходѣ



Фиг. 53. Водоспускъ въ Альфельдской плотинѣ.

со стороны долины снабжена плотиной или затворомъ изъ брусьевъ, которымъ вода въ выпускномъ каналѣ нѣсколько запруживается для нѣкотораго смягченія удара, производимаго быстрыми потоками воды изъ водохранилища къ наружной сторонѣ стѣны.

Затворъ состоитъ изъ двухъ желѣзныхъ щитовъ; на фиг. 55 показано общее устройство затвора, а фиг. 56 изображаетъ детально одинъ изъ щитовъ. Щиты двигаются вверхъ и внизъ помощью зубчатыхъ реекъ и шестеренъ, при чемъ лебедки установлены на выступѣ подпорной стѣны со стороны воды. Щиты сдѣланы изъ чугунныхъ плитъ толщ. 40 милим. и двигаются въ чугунныхъ рамахъ, прикрѣпленныхъ къ каменной кладкѣ помощью болтовъ. Штанги для подвѣски щитовъ состоятъ изъ желѣзныхъ трубъ наружн. діам. 105 милим., внутри которыхъ проходятъ сплошныя желѣзныя тяги діам. 50 милим. Эти штанги проходятъ черезъ желѣзныя направляющія, расположенныя на разстояніяхъ другъ отъ друга въ 3 метр. При подыманіи щитовъ вытягиваются только внутреннія тяги, а при запираніи или опусканіи щитовъ давленіе передается штангамъ вмѣстѣ съ трубами, при чемъ послѣднія препятствуютъ изгибанію первыхъ. Одинъ человѣкъ въ состояніи передвигать щитъ при самой высокой водѣ; при этомъ, конечно, движеніе бываетъ очень медленное. Все устройство весьма прочно и цѣлесообразно; можно совѣтовать дѣлать гнѣзда въ рамѣ и края щита изъ бронзы для препятствованія приржавленія ихъ другъ къ другу.

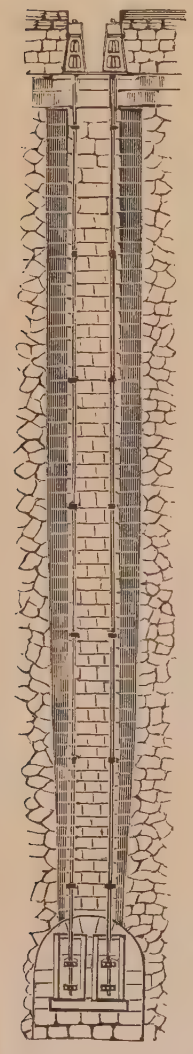


Фиг. 54. Поперечный разрѣзъ.

Такъ какъ въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ отводный каналъ водоспуска имѣетъ довольно значительные размѣры, то неудобства заложенія его въ подпорной стѣнѣ не обнаруживаются такъ замѣтно. Тотчасъ же послѣ окончанія постройки водоспуска можно имъ пользоваться для отвода высокихъ водъ во время постройки и такимъ образомъ избѣгнуть особыхъ пролетовъ въ стѣнѣ, которые всегда оказываются необходимыми для спуска высокихъ водъ во время производства постройки. Если же для спуска со дна пруда служитъ только одна труба или небольшой каналъ, то для спуска высокихъ водъ во время постройки въ соотвѣтственномъ мѣстѣ стѣны должно быть оставлено отверстіе, которое впослѣдствіи по вставкѣ трубы или

по устройствѣ канала задѣлывается. Эта задѣлка образуетъ слабое мѣсто въ наиболѣе опасной глубоко лежащей части подпорной стѣны, такъ какъ связь добавочной каменной кладки гораздо слабѣе кладки, выполненной общей массой.

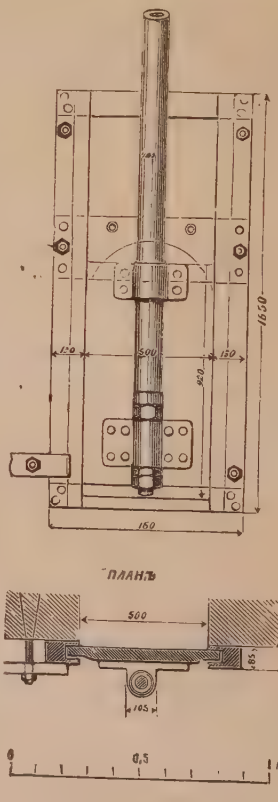
Выложенная доначала кладки отдѣльная штольня для спуска воды со дна пруда, которая по своимъ размѣрамъ вполнѣ достаточна и для отвода высокихъ водъ, несомнѣнно лучше всего гарантируетъ хорошее выполненіе кладки подпорной стѣны и соотвѣтственно надлежащую ея прочность. Если штольня по всему своему протяженію не можетъ быть направлена параллельно подпорной стѣнѣ, а, слѣдовательно, оканчиваться сбоку ея, то она должна быть проведена по этому направленію, по крайней мѣрѣ, на 50—100 метр. за запрудой и затѣмъ уже отведена по главному направленію долины. Затворъ при входѣ въ штольню и вообще все выполненіе штольни должно согласоваться съ вышеописанными устройствами. Въ подобномъ случаѣ можно вполнѣ безопасно надѣяться на равномѣрное выполненіе всей кладки подпорной стѣны безъ слабыхъ мѣстъ или вообще безъ всякихъ въ ней нарушеній.



Фиг. 55. Затворъ водоспуска.

Въ плотинѣ при Gilepre до начала кладки были построены двѣ штольни для спуска воды со дна пруда, чтобы въ случаѣ могущихъ понадобиться исправленій одна изъ нихъ могла бы быть закрыта, а другая употреблялась бы въ дѣло. Подобная крайняя уже мѣра предосторожности кажется намъ совершенно излишней и нецѣлесообразной въ экономическомъ отношеніи.

При употребленіи штольни пріемная труба и труба для спуска и опораживанія пруда располагаются вмѣстѣ. Описаніе подобнаго устройства приведено ниже при описаніи резервуара Gouffre d'Enfer. Если запруда состоитъ изъ земляной дамбы, то отверстіе для спука воды со дна при всѣхъ обстоятельствахъ должно быть расположено сбоку, причемъ необходимо весьма тщательное выполненіе спускнаго устройства въ видѣ тунеля. Въ подобныхъ случаяхъ разстояніе отъ водоспускнаго отверстія до подошвы или корня плотины должно быть по возможности больше. Такъ какъ обыкновенно мѣстность бываетъ довольно ровная, то подобные каналы или трубы выходятъ очень длинными и довольно дорогими. Поэтому пытались ихъ устроить въ видѣ сифоновъ для сокращенія главной части провода, т. е. для возможности болѣе высокаго ея расположенія.



Фиг. 56. Щитовая задвижка.

4. Водопріемное приспособленіе для цѣлей водоснабженія обыкновенно состоитъ изъ водоріемнаго колодца или водопріемнаго стояка, а иногда и изъ всасывающей трубы, подвижной въ мѣстѣ соединенія ея съ неподвижной отводной трубой. Для возможности пользованія всей массой скопленной воды оканчивающаяся въ колодцѣ отводная труба, направленная вдоль долины, должна быть уложена по возможности глубже.

Для возможности провода воды изъ тѣхъ слоевъ пруда, въ которыхъ она въ данное время обладаетъ наибольшей чистотой или наиболѣе подходящей температурой, поступленіе ея въ водопріемную трубу должно быть возможно изъ различныхъ высотъ пруда. Для этой цѣли колодцы или стояки на различныхъ высотахъ снабжаются запорными механизмами (задвижками, щитами) для открыванія и закрыванія притока въ нихъ воды. Эти приспособленія должны быть приводимы въ дѣйствіе съ гребня плотины. Вращающіяся на

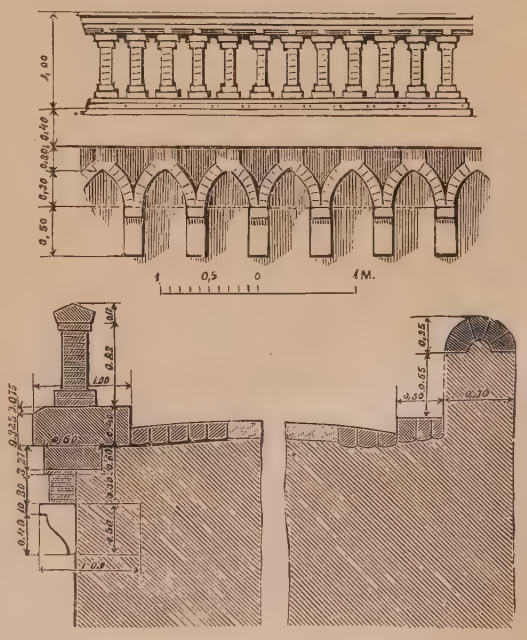
оси всасывающія трубы, которыя могутъ быть подняты и опущены до произвольной высоты, находятъ себѣ примѣненіе только при незначительныхъ глубинахъ прудовъ (5—10 метр.).

Общія соображенія, приведенныя выше относительно отвода воды со дна пруда, одинаково примѣнимы и къ отводу воды для пользованія; въ каменныхъ плотинахъ они могутъ быть уложены въ подпорной стѣнѣ; но лучше ихъ устроить въ видѣ особыхъ туннелей, какъ это всегда безусловно необходимо въ случаѣ земляной плотины.

5. Приспособленія для осмотра плотины въ ея частяхъ необходимы съ цѣлью надлежащаго за ней ухода и содержанія ея въ исправности. При каменныхъ плотинахъ для этой цѣли служитъ находящееся со стороны воды судно, а также и выступы на стѣнѣ съ наружной ея стороны или бермы на стѣнѣ съ внутренней ея стороны. Выступы съ наружной стороны стѣны обыкновенно представляютъ собой консоли изъ тесоваго камня, которые должны быть расположены крестообразно и устроены такъ, чтобы на нихъ можно было поставить небольшіе помосты для производства могущихъ понадобиться исправленій. Весьма цѣлесообразно также съ внутренней стороны стѣны установить желѣзныя лѣстницы, по которымъ упавшіе въ воду люди могли бы спастись, взбираясь по нимъ вдоль стѣны; точно также необходимо вдѣлать желѣзныя кольца для привязыванія служебныхъ лодокъ.

При земляныхъ плотинахъ можно ограничиться имѣніемъ всегда наготовѣ одного или нѣсколькихъ судовъ, такъ какъ отлогіе откосы подобныхъ плотинъ допускаютъ повсемѣстный ихъ осмотръ безъ особыхъ приспособленій.

Главнымъ образомъ опасны для существованія какъ земляныхъ плотинъ, такъ и подпорныхъ стѣнъ, переливаніе воды черезъ гребень плотины при сильномъ вѣтрѣ или высокой водѣ и нарушеніе связи въ самомъ тѣлѣ плотины вслѣдствіе сильной жары или засухи. При осмотрѣ сооруженія на это должно быть обращено вниманіе. Затѣмъ еще постоянная опасность кроется въ неизбѣжной вообще фильтраціи, т. е. прониканіи воды изъ водохранилища въ тѣло плотины или сквозь него. Точно также вода проникаетъ въ поры, трещины, и щели породы, на которой основана плотина. Поэтому необходимо обращать серьезное вниманіе какъ на эти, такъ и на другія глубже лежащія мѣста, тщательно наблюдая за выступающей водой и грунтовыми потоками. При этомъ нельзя привести какія-либо общія правила и пріемы для обнаруженія неисправностей плотинъ; можно только сказать, что для этого требуется опытный и разумный надзоръ.



Фиг. 57. Верхняя часть каменной плотины.

6. Чѣмъ выше устроена запруда, тѣмъ обширнѣе, преимущественно тѣмъ длиннѣе вообще, будетъ образованный за ней прудъ При этомъ создается искусственное препятствіе къ сообщенію между обоими берегами, почему и необходимо устранить его. Это обыкновенно достигается тѣмъ, что гребень плотины или подпорной стѣны образуетъ собой **дорогу**.

Для земляной плотины достаточно снабжать гребень мостовою, которую необходимо связать съ облицовкой откоса со стороны воды.

При подпорныхъ стѣнахъ для пѣшеходнаго сообщенія слѣдуетъ оставлять дорогу шир. не меньше 2 метр., которую для конной ѣзды слѣдуетъ уширить до 4—5 метр. Хотя часто встрѣчаются проѣзжія дороги шире 5 метр., но въ этомъ нѣтъ никакой необходимости.

На фиг. 57 изображенъ общепринятый типъ проѣзжей дороги для каменныхъ плотинъ по системѣ французскихъ инженеровъ. При этомъ считаемъ нелишнимъ опять здѣсь упомянуть, что ввиду ударовъ волнъ и образованія льда стѣна со стороны воды должна представлять собой совершенно чистую гладкую поверхность безо всякихъ поясковъ, желобковъ,

столбовъ. нишъ или выступовъ; даже ограда или парапетъ съ этой стороны долженъ состоять изъ сплошной сверху закругленной стѣнки. Украшеніе этого парапета возможно только со стороны долины. Это украшеніе можетъ быть устроено такъ, какъ показано на чертежѣ, и это устройство соотвѣтственно съ нижерасположенной большей частью колоссальной массой кладки будетъ вполнѣ правильно въ архитектурномъ отношеніи. Можно также ограничиться нѣкотораго рода фестонами или зубцами, поверхъ которыхъ устраивается брустверъ или перила, лежащія на консоляхъ или арочкахъ изъ обожженнаго кирпича. Вмѣсто каменнаго брустверa можно поставить желѣзную или чугунную рѣшетку, которая обыкновенно, впрочемъ, не производитъ хорошаго впечатлѣнія.

Проѣзжая дорога можетъ быть вымощена или шоссирована. Во всякомъ случаѣ она должна быть устроена со спускомъ воды обыкновеннымъ способомъ.

Иногда на плотинѣ со стороны долины ставится какой-нибудь памятникъ или статуя. Такъ, въ срединѣ плотины при Gilepre поставлена сдѣланная изъ песчаника колоссальная статуя сидящаго льва вѣсомъ около 300 тоннъ.

Задерживаніе мутныхъ и содержащихъ пѣсокъ и гальку притоковъ къ отстойному бассейну, служащему для водоснабженія, имѣетъ весьма важное значеніе. Для этой цѣли можетъ служить или особый обводный каналъ, какъ это устроено въ водохранилищѣ Фюрансъ, или же отстойникъ, т. е. отдѣльный бассейнъ болѣе или менѣе значительной длины съ водосливомъ въ водохранилищѣ. Лучше всего цѣль задерживанія гальки достигается нѣсколькими рядами спицъ, расположенныхъ поперегъ теченія воды; поперечное сѣченіе для протока воды должно быть достаточно велико.

Проводъ воды къ фабрикамъ, или распредѣленіе воды отъ сборнаго бассейна, большей частью, производится такимъ образомъ, что вода проходитъ черезъ водосливъ, который пропускаетъ по различной своей ширинѣ, а слѣд. пропорціонально ей, различныя количества воды въ отдѣльные каналы.

Приспособленія для разведенія рыбъ могутъ быть устроены только при водосливѣ для высокихъ водъ или у подошвы плотины. Ширина водянаго бассейна, устраиваемаго по каскадной системѣ, глубиной не меньше 0,3 метр. должна быть 0,7 метр., а длина 2,5—3 метр.; дно бассейна можетъ быть горизонтально или наклонно. Но во всякомъ случаѣ лучше вовсе не устраивать этихъ приспособленій.

Для ремонта на плотинѣ рядомъ со сторожевымъ домомъ долженъ быть устроенъ рабочій домъ (магазинъ) для склада необходимыхъ инструментовъ и матеріаловъ. Обыкновенно издается особая инструкція для всякихъ происходящихъ случаевъ. Если фильтрація черезъ стѣну или плотину усилилась выше нормальной ея мѣры, то заливаніемъ въ плотину со стороны воды известковаго молока могутъ быть достигнуты вполнѣ удовлетворительные результаты. Впрочемъ, надсмотрщикъ при плотинѣ обыкновенно долженъ знать причины неплотностей и довести о нихъ до свѣдѣнія завѣдующаго техника для дальнѣйшаго ихъ изслѣдованія и опредѣленія.

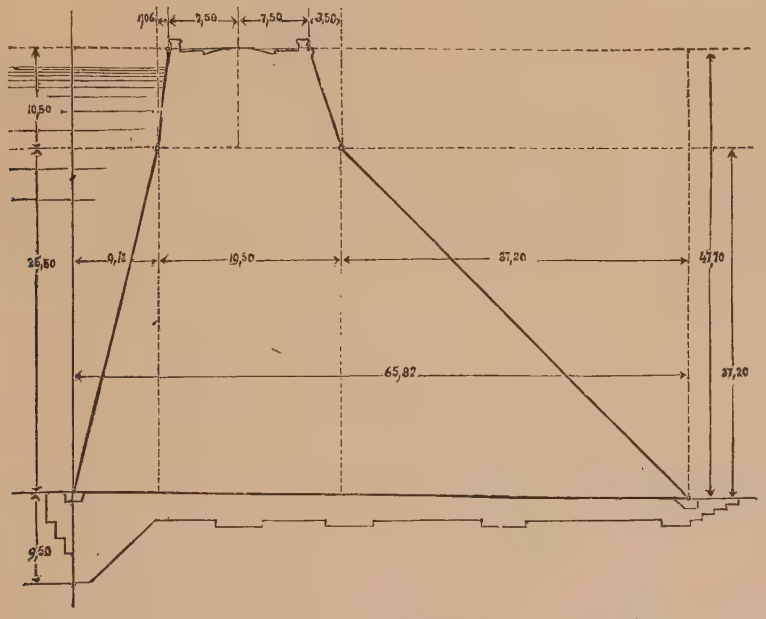
Для этой цѣли необходимо должно быть устроено телефонное сообщеніе между сторожевыми домами и домомъ для управленія, что также вызывается постоянно случающимися измѣненіями расхода воды и проч. и проч. Точно также необходимы и самодѣйствующіе сигналы, укызывающіе надсмотрщику уровень воды въ водохранилищѣ и въ распредѣлительныхъ камерахъ. Наконецъ, на случай въ томъ нужды необходимо также устроить предупредительные сигналы и телеграфное сообщеніе съ удаленной, ниже расположенной, мѣстностью для возможности своевременнаго извѣщенія жителей и для устраненія такимъ образомъ опасности для жизни людей въ случаѣ наступающаго разрушенія или

сильнаго прорыва плотины. Подробныя правила, какъ поступать въ каждомъ отдѣльномъ подобномъ случаѣ, здѣсь не могутъ быть приведены.

Дальнѣйшія замѣчанія и примѣры изъ практики. Съ перваго взгляда насъ поражаетъ то обстоятельство, что между новѣйшими сооруженіями встрѣчаются многія подпорныя стѣны, имѣющія поперечныя профили, значительно отличающіяся отъ получаемыхъ по приведенной теоріи. При сравненіи ихъ между собой мы находимъ, что размѣры профилей оказываются больше получаемыхъ вычисленіями. Правда, ширина подошвы, за весьма немногими исключеніями, немного отличается отъ вычисленныхъ типовъ; но въ верхнихъ частяхъ, наоборотъ, мы очень часто встрѣчаемъ увеличенную толщину.

Примѣненіе такихъ профилей вызвано различными причинами.

Бельгійскій инженеръ Бидо, устроившій запруду Gilepre при Вервье, примѣнилъ профиль, изображенную на фиг. 58. Здѣсь мы видимъ громадную разницу отъ теоретической профили: гребень имѣетъ ширину 15 метр., между тѣмъ какъ возможно было бы вполнѣ удо-



Фиг. 58. Профиль плотины Gilepre при Вервье.

вольствоваться третью этой ширины, т. е. 5 метр.; подошва имѣетъ ширину около 66 метр., а для нея, при ширинѣ гребня въ 5 метр. была бы вполнѣ достаточна ширина около 45 метр. Само собой разумѣется, что при проектированіи этого сооруженія Бидо былъ знакомъ съ раньше примѣнявшимися для этой цѣли профилями, съ теоріями и проч. Но уклоненія принятыхъ имъ отъ теоретически вычисленныхъ типовъ онъ объясняетъ слѣдующимъ образомъ:

Сборный бассейнъ при Вервье содержитъ въ себѣ гораздо большее количество воды, нежели до тѣхъ поръ извѣстные пруды, а именно 12—14 милліоновъ кубич. метр.; хотя эта громадная масса воды сама по себѣ не увеличиваетъ вѣроятности несчастія, но тѣмъ не менѣе послѣдствія несчастія были бы гораздо ужаснѣе, нежели при меньшихъ количествахъ воды. Затѣмъ длина подпорной стѣны въ данномъ случаѣ значительно превышала длину всѣхъ извѣстныхъ до того времени плотинъ. Бидо глубоко убѣжденъ, что стѣны, назначенныя для сопротивленія давленію воды, при увеличивающейся длинѣ должны быть также сдѣланы толще, въ чемъ съ нимъ согласна большая часть инженеровъ. Кромѣ того, Бидо признавалъ необходимымъ, чтобы это сооруженіе первой въ Бельгіи запруды внушало бы довѣріе народу, и чтобы опасенія за могущія быть случайности не препятствовали бы выполненію другихъ подобныхъ же сооруженій. Это довѣріе къ сооруженію можетъ быть достигнуто только весьма прочными его размѣрами. Кромѣ того, Бидо еще принялъ во вниманіе, что плотина сама по

себѣ должна быть въ состояніи выдерживать переливъ высокихъ водъ, при неожиданныхъ паводкахъ въ р. Gilepre.

Извѣстный французскій инженеръ Крантцъ также придерживается того взгляда, что подпорнымъ стѣнамъ должны быть приданы достаточно крупные размѣры. При разсмотрѣніи старинныхъ испанскихъ подпорныхъ стѣнъ онъ говоритъ: „Эта группа сразу поражаетъ своими громадными безполезными толщинами. Я придаю настолько важное значеніе полной безопасности подпорныхъ стѣнъ, что я весьма снисходительно отнесся бы къ такой непомѣрной роскоши, если бы примѣненіемъ вдвое большаго количества каменной кладки уменьшили бы давленіе на половину или только на соотвѣтственную величину. Къ сожалѣнію, это не всегда имѣетъ мѣсто, и т. д.“. Такимъ образомъ онъ возражаетъ не противъ слишкомъ значительныхъ массъ каменной кладки, а только противъ технически неправильнаго распредѣленія массы кладки внутри самой профили. Въ приводимой Крантцомъ (фиг. 49) нормальной своей профили онъ больше стремится къ значительной ширинѣ подошвы и не только къ небольшому давленію въ подошвѣ, а къ такому распредѣленію массы кладки, при которомъ наибольшее сжатіе приняло бы по возможности наименьшее значеніе (не выше 6 килогр. на 1 кв. сантим.).

Не подлежитъ сомнѣнію, что опытный инженеръ съ теченіемъ времени пріобрѣтаетъ извѣстный навыкъ въ опредѣленіи надежности сооруженія. Бидо, который говоритъ, что онъ такъ прочно строилъ запруду Gilepre для внушенія народу довѣрія къ сооруженію, несомнѣнно испыталъ весьма непріятное чувство при разсмотрѣніи стройныхъ и тонкихъ верхнихъ частей профилей французскихъ подпорныхъ стѣнъ. Можетъ быть онъ представлялъ себѣ дѣйствіе бури и сильнаго волненія, при которыхъ значительная часть массы воды сборнаго бассейна извѣстнымъ образомъ ударяетъ въ стѣну; въ такомъ случаѣ вынесенное имъ непріятное чувство находитъ себѣ полное оправданіе. Для сопротивленія ударамъ значительныя массы кладки оказываются наиболѣе стойкими.

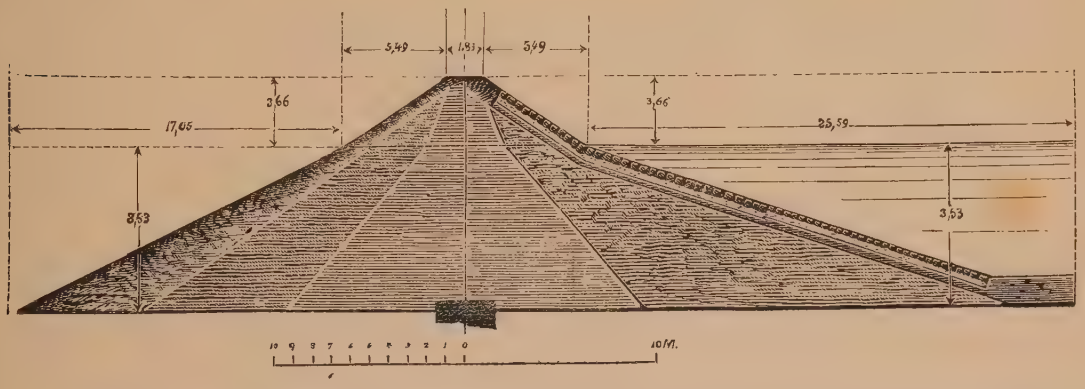
Теоретически толщина стѣны на уровнѣ воды можетъ быть равна нулю, такъ какъ въ этой точкѣ при спокойномъ состояніи воды не существуетъ никакого давленія. Въ практикѣ же, какъ мы неоднократно упоминали, необходимо принять въ разсчетъ дѣйствіе вѣтра, волнъ, ударовъ льдинъ и колебанія или волненія всей массы воды въ водохранилищѣ. Образующіеся здѣсь моменты силъ могутъ быть только приблизительно вычислены, такъ что необходимо въ этомъ случаѣ довольствоваться извѣстными предположеніями, т. е. размѣръ гребня стѣны оказывается произвольнымъ. Весьма понятно, что при подобныхъ обстоятельствахъ у всякаго отдѣльнаго лица существуетъ свой взглядъ на ту громадную отвѣтственность, съ которою связано проектированіе подобнаго серьезнаго и важнаго сооруженія. Съ другой стороны ясно также, что при правильномъ распредѣленіи массы кладки по профили и при хорошемъ выполненіи болѣе толстая стѣна даетъ больше увѣренности въ своей прочности.

Въ этомъ смыслѣ необходимо разсматривать также и существующія сооруженія, при чемъ необходимо главнымъ образомъ отрѣшиться отъ сильно распространеннаго и частію совершенно неправильнаго предположенія, что строители исключительныхъ прочныхъ сооруженій не имѣли никакого понятія о такъ называемой теоріи. Мы глубоко убѣждены, что именно тогда, когда инженеръ точно взвѣситъ и различитъ, что теоретически совершенно правильно и что оказывается только предположеніемъ, онъ въ отдѣльныхъ случаяхъ придетъ къ заключенію о необходимости увеличенія прочности даннаго сооруженія.

Затѣмъ переходимъ къ описанію нѣкоторыхъ существующихъ сооруженій. При этомъ сперва приведемъ описаніе большой земляной плотины, а затѣмъ уже опишемъ нѣкоторыя каменныя плотины.

Въ Индіи существуетъ огромное число водохранилищъ, образуемыхъ земляными плотинами. Одно изъ новыхъ, построенныхъ въ 1876—82 годахъ, сооруженій представляетъ собой **плотина на Ашти**, находящаяся въ округѣ Шолапуръ (въ 15 миляхъ отъ желѣзной дороги между Бомбеемъ и Мадрасомъ); запруженная вода служитъ для орошенія 10226 гектаровъ земли. Водохранилище содержитъ въ себѣ около 40 милліоновъ кубич. метровъ воды; поверхность свободнаго уровня воды составляетъ около 1100 гектаровъ, а служащая для его питанія область осадковъ составляетъ около 24.000 гектаровъ. Наибольшая высота подпертой воды въ прудѣ составляетъ 14 метр., а притекающее къ пруду количество воды составляетъ приблизительно одну шестую часть выпадающихъ на область осадковъ дождей. Изъ водохранилища теряется около 6 милліоновъ воды путемъ испаренія и просачиванія, такъ что всего остается въ распоряженіи только 34 милліона куб. метр.

Земляная плотина имѣетъ длину въ 3,9 километр., а наибольшая ея высота составляетъ 17,68 метр.; поперечный разрѣзъ плотины изображенъ на фиг. 59, на которой показаны всѣ размѣры въ метрахъ.



Фиг. 59. Земляная плотина у Ашти (въ Индіи).

Послѣ подготовки основанія подъ плотину путемъ предварительной выкорчевки всѣхъ пней, растеній и проч., въ подошву плотины былъ вдѣланъ глиняный сердечникъ толщ. 3,05 метр., вертикальная ось котораго была расположена подъ срединой плотины; этотъ сердечникъ занималъ всю длину плотины и въ глубину простирался до существующаго внизу непроницаемаго слоя, состоящаго изъ каменноугольнаго песчаника. Затѣмъ на этотъ сердечникъ производилась насыпка плотины изъ трехъ частей: средняя часть насыпки состояла изъ черной, тщательно выбранной глинистой почвы; справа и слѣва отъ этой средней части насыпалась всякая чистая земля отъ коричневаго до краснаго цвѣта; наружная часть насыпки со стороны долины состояла изъ смѣси, употребленной для сердечника глинистой почвы съ пескомъ. Все устройство видно на чертежѣ. Со стороны воды устроена облицовка откоса, верхній поясъ которой, подверженный ударамъ волнъ, состоитъ изъ крупныхъ камней и поддерживается выстланнымъ изъ мелкихъ камней поясомъ, простирающимся до дна сборнаго бассейна. Облицовка расщебенена каменнымъ мусоромъ.

Земляная насыпь производилась слоями толщ. 20 сантим., плотно утрамбованными путемъ укатки.

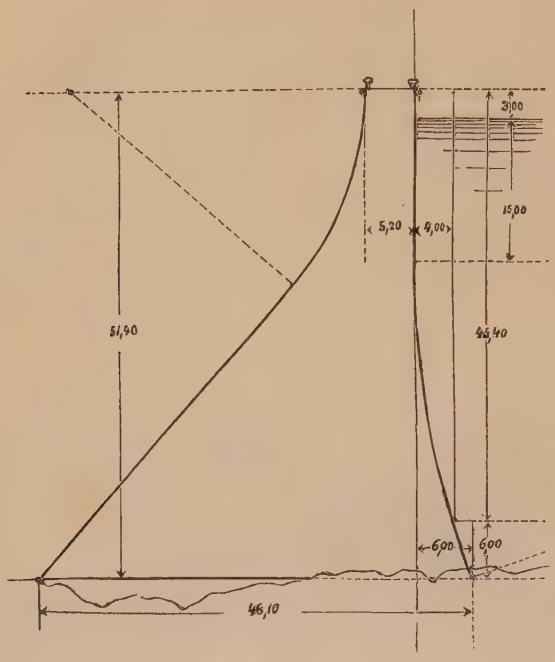
На правомъ и лѣвомъ концахъ плотины расположены водоотводные каналы, проходящіе сквозь плотину въ видѣ туннелей яйцеобразной формы (съ плоскимъ сводомъ вверху и острымъ внизу) вышин. около 1,4 метр. и шир. (у пятъ) около 1 метр. Эти туннели со стороны долины замыкаются стѣной, отъ которой съ каждаго туннеля идутъ по 3 чугунныхъ трубы діам. по 0,3 метр., снабженныя задвижками, служащими для регулированія выпуска.

Отводъ высокихъ водъ производится простой примыкающей къ тѣлу плотины боковой дамбой, вдоль которой откопкой естественнаго берега образовался каналъ шир. 250 метр.; такимъ путемъ высокія воды отводятся боковымъ русломъ въ находящуюся тутъ же рѣку Ponti.

Дальнѣйшія подробности объ этой плотинѣ см. Min. Proceed. Inst. Civ. Eng. за 1885 г., т. 5, стр. 245.

Изъ каменныхъ плотинъ приводимъ здѣсь сперва поперечную профиль изящной **подпорной стѣны Вилларъ**, построенной въ 1869—76 г. для водоснабженія г. Мадрида (въ Испа-

ніи). Изъ чертежа (фиг. 60) видно, что эта плотина построена на основаніи французской теоріи; въ планѣ она имѣетъ нѣкоторую выпуклость со стороны воды; она построена на основаніи изъ весьма твердаго гнейса, въ которое она впущена своими опорами. Строительнымъ матеріаломъ для сооруженія этой стѣны служили частью куски гнейса, полученные при выломкѣ фундамента, и частью другіе эрратическіе валуны. Стѣна сравнительно коротка (134,8 метр.) и замыкаетъ бассейнъ емкостью около 16½ милліоновъ кубич. метр. Вода доставляется рѣкой Лозой. Расходъ воды производится изъ находящагося въ срединѣ стѣны выступа въ видѣ башни на глубинѣ 45,4 метр. подъ гребнемъ стѣны; на той же глубинѣ расположенъ водоспускъ со дна бассейна, приводимый въ движеніе особымъ вододѣйствующимъ механизмомъ. Водосливъ для высокихъ водъ имѣетъ ширину въ 60 метр.

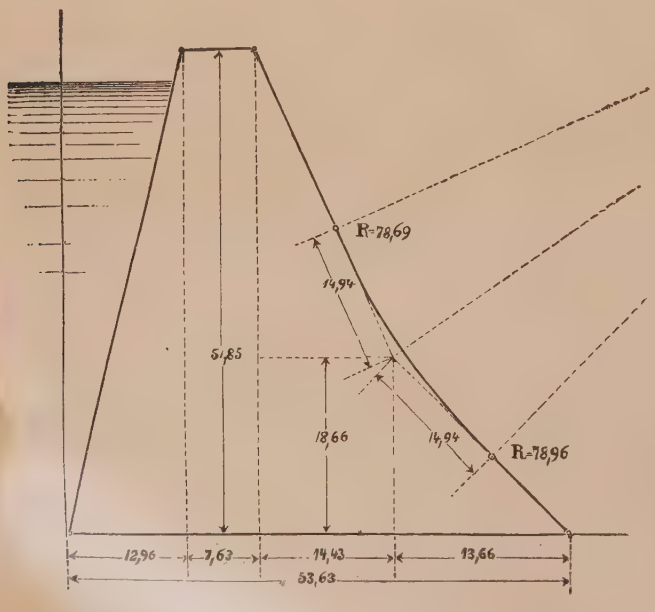


Фиг. 60. Плотина Вилларъ (Испанія).

Дальнѣйшія подробности см. въ цитированной выше книгѣ Круньола.

Болѣе солидную конструкцію имѣетъ построенная въ 1887 г. **плотина Crystall-Springs** для водоснабженія г. Санъ-Франциско въ Калифорніи, изображенная въ поперечномъ разрѣзѣ на фиг. 61. Она покоится на сплошной скалѣ, съ которой она связана ступеньчатыми уступами; для достиженія большей водонепроницаемости со стороны воды въ скалу входитъ уступъ или зубецъ плотины длин. около 3 метр.

Со стороны воды стѣна имѣетъ откосъ 4 : 1, а со стороны долины отъ гребня стѣны внизъ откосъ составляетъ 2,3 : 1; при подошвѣ откосъ сдѣланъ 1 : 1, при чемъ переходъ отъ одного откоса къ другому сдѣланъ помощью дуги радіусомъ 78,69 метр. Въ планѣ радіусъ кривизны выпуклости стѣны со стороны воды составляетъ 194,3 метр., а длина стѣны составляетъ 207,4 метр. Остальные размѣры видны изъ чертежа.



Фиг. 61. Плотина Crystall-Springs въ Калифорніи.

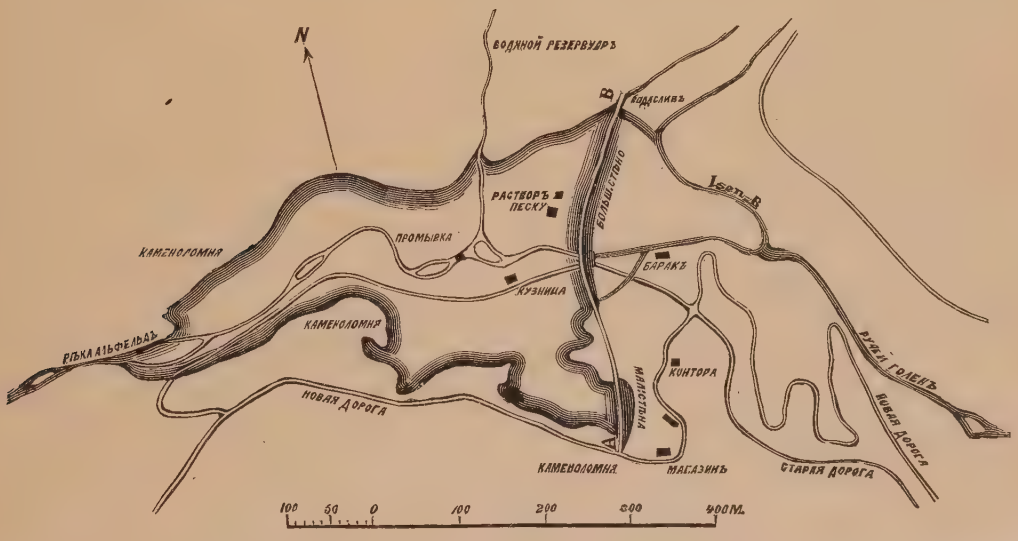
Эта плотина считается самой крупной изъ числа построенныхъ изъ бетона, т. е. искусственныхъ камней *T*-образной формы (длина стороны 9—12 метр., а толщ. 2,5—3 метр., вѣсомъ до 600 тоннъ); камни изготовлялись на мѣстѣ ихъ задѣлки изъ 1 части портландскаго цемента, 2 частей песку и 6 частей щебня.

Вода поступаетъ въ чугунный тоякъ діаметр. 1270 милим., установленный въ каменной шахтѣ и снабженный впускными отверстіями на трехъ различныхъ высотахъ; эти отверстія даютъ возможность получать воду изъ различныхъ слоевъ бассейна въ разныя времена года; такъ, лѣтомъ, когда верхніе слои воды наиболѣе нагрѣты, вода поступаетъ въ шахту вблизи

дна пруда, а въ дождливое время, когда нижніе слои болѣе мутны, вода поступаетъ въ шахту сверху.

Сравнивая между собою профили фиг. 59, 60 и 61, легко видѣть, насколько различны площади профилей, а вмѣстѣ съ ними и стоимости сооруженій, а также и какія матеріальныя жертвы были принесены предполагаемой большей надежности изображенныхъ на фиг. 59, 60 и 61 типовъ профилей.

Кромѣ профили и длины каменной или земляной плотины на начальную стоимость ея вліяетъ еще болѣе или менѣе раціональный способъ выполненія работъ, а также и инструкціи или кондиціи работъ. Послѣднія обусловливаютъ собой матеріалъ, который долженъ быть употребленъ для работы, а также и сроки окончанія отдѣльныхъ частей сооруженія. Въ зависимости отъ большей или меньшей трудности полученія того или другого матеріала на мѣстѣ работъ (большею частью довольно удаленномъ), цѣна будетъ больше или меньше, и поэтому передъ приступленіемъ къ работѣ необходимо сдѣлать предварительное сравненіе цѣнъ. Если сооруженіе должно быть окончено въ весьма короткій срокъ, то вообще цѣна сооруженія будетъ больше, нежели въ случаѣ допущенія болѣе длиннаго срока.



Фиг. 62. Альфельдская плотина при Севенѣ въ Эльзасѣ.

Что касается раціональныхъ способовъ производства работъ, то подобное крупное сооруженіе рѣдко выполняется безъ болѣе или менѣе обширнаго примѣненія машинъ, какъ для доставки земли или строительныхъ матеріаловъ, такъ и для укладки камней и проч. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ мѣстныя условія бываютъ таковы, какъ, напр., при отсутствіи надлежащихъ путей сообщенія, что всю работу приходится выполнять ручнымъ трудомъ; время постройки въ подобныхъ случаяхъ бываетъ весьма продолжительно.

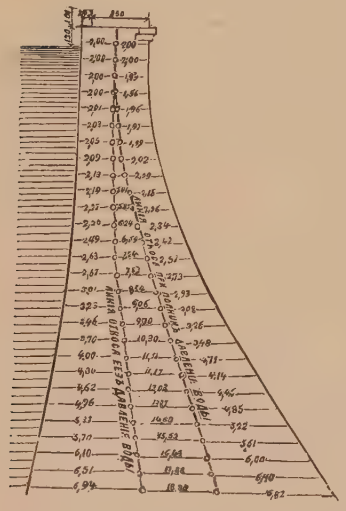
Рѣшеніе вопроса о допускаемыхъ къ употребленію матеріалахъ обусловливается многими различными обстоятельствами, въ разсмотрѣніе которыхъ мы здѣсь входить не можемъ. Для примѣра скажемъ, что изображенная на фиг. 61 плотина Crystall-Springs выполнена изъ бетона потому, что для этой работы могли быть употреблены обыкновенные чернорабочіе; каменьщикамъ и камнетесамъ приходилось платить поденно по 6½ доллар. (около 13 руб.) при готовомъ продовольствіи; но, кромѣ рабочей платы, на выборъ способа работъ вліяетъ также и стоимость глины, песку, строительнаго камня, а главнымъ образомъ раствора. Въ этомъ отношеніи при разработкѣ проекта должны быть изучены всѣ мѣстныя условія.

Весьма обстоятельныя свѣдѣнія подобнаго рода находимъ въ замѣткѣ Фрехта *), содер-

*) Erbkams Zeitschr. 1889.

жащей въ себѣ описаніе постройки неоднократно упомянутой нами Альфельдской плотины, сооруженной въ 1883—1887 г. въ Эльзасѣ. Приводимъ здѣсь нѣкоторыя краткія выдержки изъ этой замѣтки.

Альфельдская долина расположена у подошвы Эльзасской Бельхенъ (отдѣльныхъ возвышенностей Bourob) близъ французской границы, въ 2½ киллометр. выше Севена. Почва тамъ состоитъ изъ находящагося на сравнительно небольшой глубинѣ краснаго гранита (гранитита), образующаго непроницаемый для воды слой, детритъ котораго, промытый водой, представляетъ собой прекрасный строительный песокъ. Самъ по себѣ гранититъ весьма проченъ, твердъ и не вывѣтривается, образуя такимъ образомъ весьма надежный строительный матеріалъ.



Фиг. 63. Профиль Альфельдской подпорной плотины.

Запруда образуется двумя стѣнами, обозначенными на фиг. 62, подъ названіемъ „большой“ и „малой“. Въ мѣстѣ истока р. Альфельдъ высота подпора равна 21,7 метр. надъ уровнемъ воды въ послѣдней, причемъ водохранилище имѣетъ емкость въ 1.100.000 куб. метровъ.

„Большая“ подпорная стѣна (фиг. 63) имѣетъ высоту, считая отъ самаго глубокаго мѣста, въ 28 метр. и ширину подошвы въ 18,33 метр. Со стороны воды поверхность стѣны на высотѣ 10 метр направлена вертикально, а затѣмъ переходитъ въ касательную къ вертикальной линіи дугу круга радіусомъ 70 метр. Отъ полученной такимъ образомъ линіи считаются написанные на чертежѣ размѣры; слои, на которые раздѣлено поперечное сѣченіе, имѣютъ высоту по 1 метру. Къ югу отъ „большой“ стѣны и отдѣленная отъ нея выступомъ скалы расположена малая стѣна, спускающаяся въ лощину (фиг. 62). Стѣны разсчитаны такъ, что сжатіе нигдѣ не превышаетъ 6 килогр. на 1 квадр. сантим., и, за исключеніемъ совершенно необычайныхъ условій, нигдѣ не являются растягивающія натяженія.

До отдачи работъ по постройкѣ этого сооруженія управленіемъ работами были произведены опыты для опредѣленія состава допускаемаго къ употребленію раствора при условіяхъ выполненія всей каменной кладки изъ необтесанныхъ камней (изъ гранититовыхъ каменоломенъ непосредственно у мѣста работъ) съ неправильными (циклопическими) швами. Опыты были произведены надъ слѣдующими составами:

1) Чистымъ растворомъ изъ цемента и песку;
2) Растворомъ изъ гидравлической (сѣрой) извести и песку;
3) Растворомъ изъ гидравлической (сѣрой) извести, цементу и песку;
4) Растворомъ изъ бѣлой извести, цементу и песку;
5) Растворомъ изъ гидравлической (сѣрой) извести, трасса и песку;
6) Растворомъ изъ бѣлой извести, трасса и песку.

Чистые цементные растворы № 1 обнаруживали весьма высокую степень прочности, но оказались слишкомъ дороги, а при значительной примѣси песку (напр., при смѣси 1 части цемента съ 5 частями песку) растворъ обнаруживалъ недостаточную связующую силу и сильную пористость. Растворы № 2 изъ гидравлической извести и песку вслѣдствіе медленнаго ихъ затвердѣванія подъ водой оказались непримѣнимыми для данной цѣли. Растворы № 3 удовлетворяли всѣмъ требованіямъ даннаго случая, обнаруживъ подъ дѣйствіемъ весьма разнообразныхъ вліяній достаточную прочность сжатію и растяженію, при дешевизнѣ ихъ приготовленія. Растворы № 4 тоже оказались допустимыми къ примѣненію, но обнаруживали меньшую прочность въ сравненіи съ растворами № 3, при одинаковой стоимости приготовленія. Растворы № 5 изъ гидравлической извести, трасса и песку оказались настолько же удовлетворительными, какъ и растворы № 3 и настолько же дешевыми по своему изготовленію. Растворы № 6 изъ бѣлой извести, трасса и песку обнаружили меньшую прочность, нежели растворы № 3.

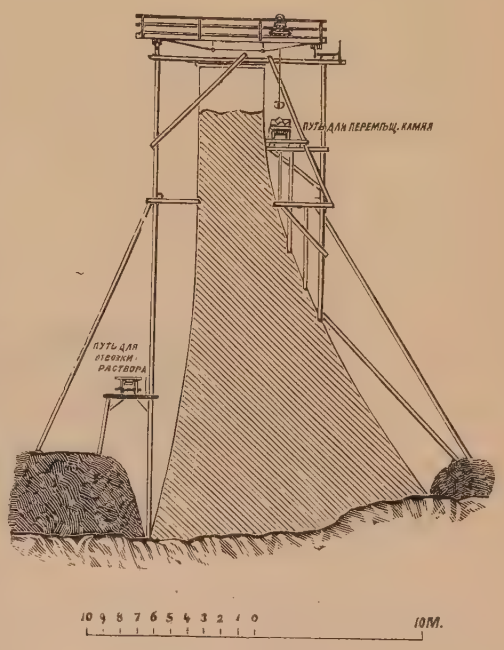
На основаніи результатовъ этихъ опытовъ остановились на растворѣ изъ 1 части (по вѣсу) портландскаго цементу, 2 частей гидравлической извести и 10 частей промытаго песку, что соотвѣтствуетъ объемному отношенію 1 : 4 : 10.

Строительный камень добывался въ крупныхъ кускахъ помощью взрывовъ минъ, для которыхъ примѣнялись пороховые заряды до 75 центнеровъ. Подобные заряды при взрывахъ давали тысячи кубич. метр. годнаго строительнаго камня. Наименьшій объемъ камня по инструкціи допускался въ 0,02 куб. метр.; въ дѣйствительности же стѣны были выложены изъ камней среднимъ объемомъ въ 0,15—0,2 куб. метр., доходившимъ до 0,5 куб. метр.

Камни доставлялись къ мѣсту работъ по рабочимъ или служебнымъ путямъ съ небольшими уклонами. Для приготовленія раствора употреблялась приводимая въ движеніе локомобилемъ мѣсильная машина съ горизонтальною осью; съ этой машины растворъ поступалъ въ ящики и по рабочимъ путямъ направлялся къ стѣнѣ. Ежедневно можно было изготовлять 25 куб. метр. раствора. Съ упомянутыхъ двухъ рабочихъ путей растворъ и камни подымались къ мѣсту ихъ употребленія помощью подъемныхъ крановъ, какъ это изображено на фиг. 64.

По даннымъ Фехта стѣна имѣетъ совершенно однородное строеніе и одинаковое сопротивленіе сдвигу по всевозможнымъ плоскостямъ слоевъ. Для возведенія слоя стѣны высот. въ 1 метръ требовалось времени около 14 дней. При работѣ весьма тщательно наблюдали за плотностью и непроницаемостью швовъ. Каждый шовъ вытесывался на глубину 7 сантим. и заливался растворомъ изъ 2 частей мелкаго песку и 1 части портландскаго цемента, къ которому при сухой вѣтреной погодѣ прибавляли $^1/_8$—$^1/_{10}$ части гидравлической (сѣрой) извести. Подобнымъ же матеріаломъ заливались швы стѣны со стороны долины. Для возведенія обѣихъ подпорныхъ стѣнъ въ общемъ потребовалось 28,333 кубич. метр. каменной кладки, которая со включеніемъ доставки требуемыхъ матеріаловъ обошлась въ 334.429 марокъ, т. е. въ круглыхъ числахъ по 12 марокъ (6 руб.) за кубич. метръ—цѣна поразительно дешевая.

Дальнѣйшія подробности находимъ въ вышеуказанной замѣткѣ Фехта.



Фиг. 64. Подмости.

Относительно начальной стоимости плотинъ весьма трудно дать какія-либо общія указанія. Весьма большое вліяніе здѣсь оказываютъ орографическія условія сборнаго бассейна. При весьма большой емкости пруда и сравнительно короткой плотинѣ стоимость послѣдней, отнесенная на 1 куб. метръ скопляемой воды, само собой разумѣется, будетъ гораздо меньше, нежели въ случаѣ длинной плотины; точно также эта стоимость будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше собирательная способность бассейна. Считаемъ нелишнимъ здѣсь присовокупить, что въ описанной нами Альфельдской плотинѣ стоимость ея на каждый куб. метръ скопляемой воды составляетъ 40 пфениговъ (около 20 коп.). При французскихъ каменныхъ плотинахъ эта стоимость колеблется между 17 и 80 пфеннигами и въ среднемъ составляетъ 36 пфениговъ (около 18 коп.). Сооруженія въ Алжирѣ потребовали отъ 6 до 32 пфениговъ, въ среднемъ 20 пфениговъ на 1 куб. метр. воды; стоимость испанскихъ плотинъ колеблется между 6 и 22 пфенниг. и въ среднемъ составляетъ 13 пфениговъ. Земляныя плотины во Франціи обходились въ 7—25 пфениговъ, въ среднемъ 17 пфениговъ на 1 куб. метръ собираемой воды; въ Англіи эта стоимость составляла въ среднемъ 32 пфеннига, а въ Индіи между 2 и 5 пфенн., въ среднемъ 3,6 пфеннига.

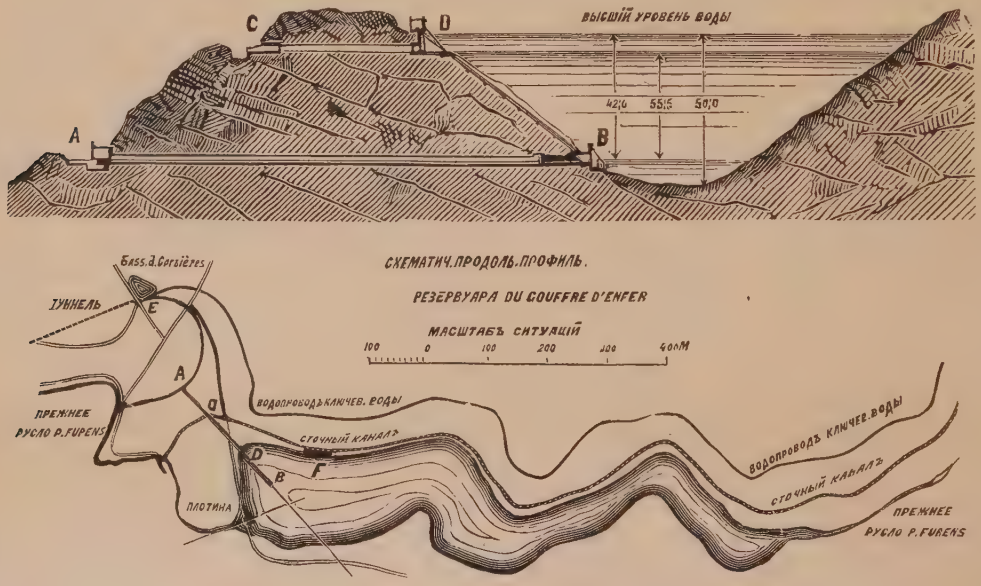
Индійскія плотины образуютъ самые большіе сборные бассейны, за исключеніемъ американскихъ. Изъ первыхъ укажемъ здѣсь на земляную плотину

р. Екрукъ при Шолапурѣ, скопляющую 95 милліоновъ, и на плотину р. Ашти при Шолапурѣ, образующую прудъ емкостью 40 милліоновъ кубич. метр. Плотина на озерѣ Виннипегѣ (въ Британской Америкѣ) образуетъ прудъ емкостью 1298 милліоновъ куб. метр., а плотина на озерѣ Личъ (Миннезота) образуетъ прудъ въ 850 милліоновъ куб. метр.

Сборные бассейны, служащіе для цѣлей водоснабженія, должны соотвѣтствовать расходу въ 150—200 литровъ воды на человѣка въ день. Въ среднемъ для сохраненія милліона куб. метр. воды требуется въ круглыхъ цифрахъ 20 гектаровъ водяной поверхности сборнаго бассейна. Высота испаренія, какъ упомянуто выше, составляетъ отъ 0,004 до 0,01 метр. за 24 часа, въ зависимости отъ климата; потеря отъ фильтраціи составляетъ около 500—1000 кубич. метровъ въ день на каждый милліонъ кубич. метр. емкости бассейна. Вообще даже въ наилучшихъ бассейнахъ около 20—40% воды исчезаетъ путемъ испаренія и просачиванія, такъ что въ распоряженіи остается въ среднемъ только 70% сбора. Обыкновенно намъ извѣстны высоты дождя только для низменныхъ мѣстъ, и поэтому необходимо здѣсь замѣтить, что на каждые 100 метровъ возвышенія мѣстности количество дождя увеличивается на 60—70 миллиметровъ.

Въ заключеніе приводимъ здѣсь описаніе неоднократно упоминавшейся выше плотины Гуффръ д'Анферъ при Сентъ-Этьенѣ, называемой также плотиной Фюрансъ.

Водохранилище Гуффръ д'Анферъ изображенное схематически и въ планѣ на фиг. 65, образуется плотиной высотой въ круглыхъ числахъ 52 метр. для троякой цѣли: для воспол-



Фиг. 65. Плотина на р. Furens при С. Этьенѣ во Франціи.

ненія водоснабженія ключевой водой города Сентъ-Этьена въ сухое время года, для обезпеченія рѣки Фюрансъ равномѣрнымъ количествомъ воды и для предупрежденія случавшихся въ прежнее время половодій.

Для первой изъ означенныхъ цѣлей необходимо было озаботиться тѣмъ, чтобы въ бассейнъ поступала обыкновенно только совершенно чистая вода. По природѣ своей область осадковъ представляетъ собой мѣстность лѣсистую и малонаселенную; почва въ ней почти водонепроницаема, такъ что нормально притекающая вода вообще не испорчена. Для отвода высокихъ водъ съ цѣлью устраненія препятствій во время постройки плотины былъ устроенъ отводный каналъ (фиг. 65), проведенный у праваго склона долины и имѣвшій ширину у подошвы 5,5 метр. и глубину 3 метра для пропуска около 90 куб. метр. въ секунду воды при паденіи канала въ 0,012. Этимъ получилась возможность отвести всю мутную отъ осѣдающихъ веществъ воду въ тѣ именно періоды времени, когда

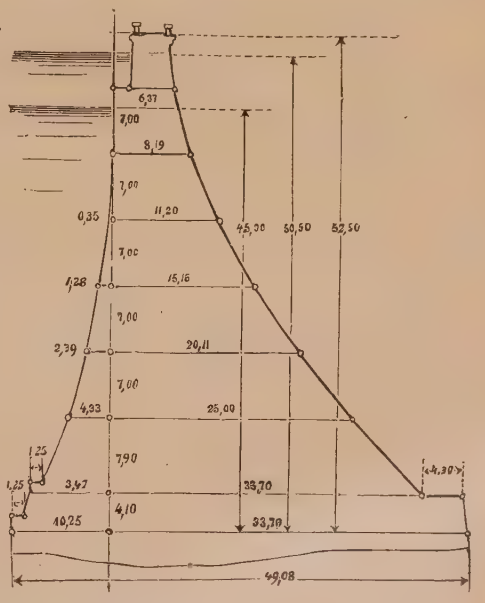
бассейнъ служитъ для восполненія ключеваго водоснабженія. При постройкѣ плотины этотъ каналъ доставлялъ значительныя облегченія, препятствуя образованію слабыхъ мѣстъ въ плотинѣ, неизбѣжныхъ при устройствѣ сливнаго отверстія въ самомъ тылѣ плотины, которое необходимо было бы постоянно держать открытымъ. Такъ какъ сверхъ того были устроены спускная труба со дна бассейна и главный водоспускной туннель A B (фиг. 65), то поступавшія въ область бассейна небольшія количества высокихъ водъ могли отводиться безо всякой опасности для строящейся плотины. Поэтому послѣдняя могла быть выложена изъ одной сплошной массы и сдѣлана почти совершенно непроницаемой для воды.

Для удовлетворенія въ исключительныхъ случаяхъ,—при весьма высокой водѣ,—третьему назначенію бассейна былъ устроенъ туннель CD (фиг. 65). Обыкновенно уровень воды въ бассейнѣ не долженъ быть выше подошвы этого туннеля, который поэтому нормально всегда остается открытымъ. При высокой водѣ, наоборотъ, находящійся при D затворъ опускается, при чемъ въ бассейнѣ происходитъ повышеніе уровня воды на 5,5 метр., что соотвѣтствуетъ объему воды въ 400.000 куб. м. Эта опасная для Сентъ-Этьена часть полой воды можетъ быть впущена въ сборный бассейнъ помощью плотины. При F имѣется водосливная плотина для предупрежденія поднятія уровня воды выше упомянутой высоты 5,5 метр. Эти средства, какъ по вычисленію, такъ и на практикѣ, оказались достаточными для воспрепятствованія наводненію Сентъ-Этьена, которое наступаетъ тогда, когда количество воды въ р. Фюрансъ превышаетъ 93 куб. метра въ секунду.

Разборчатая плотина, производящая упомянутый впускъ воды, расположена въ томъ мѣстѣ, гдѣ отводный каналъ отвѣтвляется отъ р. Фюрансъ; она снабжена 10 отверстіями шир. по 1,50 метр., изъ которыхъ 5 ведутъ въ сборный бассейнъ, и 5 въ отводный каналъ. Отверстія перекрыты помостомъ, на которомъ расположены подъемныя приспособленія для щитовъ.

Емкость сборнаго бассейна составляетъ 1.600.000 куб. метр. и оказывается достаточной для удовлетворенія второй изъ упомянутыхъ цѣлей. Для большей обезпеченности выше Гуффръ впослѣдствіи устроенъ еще сборный бассейнъ (Па дю Піо).

Плотина Гуффръ д'Анферъ представляетъ собой каменную стѣну, обращенную къ водѣ выпуклостью радіусомъ въ 252,5 метр. (считая по срединѣ гребня), длиной около 100 метр. Эта стѣна сдѣлана сплошной по всей своей поверхности, не заключая въ себѣ никакихъ выпускныхъ отверстій, разборныхъ колодцевъ и проч., и превосходно выполнена. Поперечная профиль стѣны показана на фиг. 66; она разсчитана такъ, что сжатіе нигдѣ не превышаетъ 6,5 килогр. на 1 квадр. сантим. Со стороны долины въ стѣну вдѣланы 9 балокъ съ консолями для установки на нихъ рабочихъ помостовъ; со стороны воды на 2 метра выше нормальнаго водослива имѣется широкая выстланная каменными плитами берма.

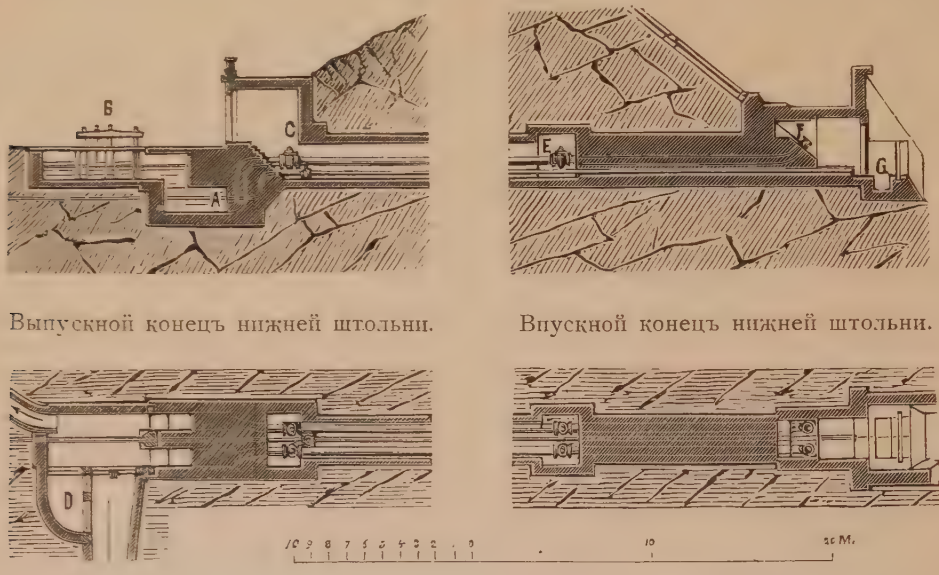


Фиг. 66. Профиль плотины р. Furens.

Выпускъ воды со дна бассейна производится водоспускными трубами, уложенными въ туннели вышиной 2 и шир. 1,8 метр. со стѣнками толщ. 40 сант. по всей его длинѣ. Проводъ и спускъ воды производятся по двумъ чугуннымъ флянцевымъ трубамъ внутр. діам. 40 сантим.; по срединѣ между этими трубами, но нѣсколько глубже, уложена еще одна постоянно открытая выпускная труба, служащая главнымъ образомъ для препятствованія осажденію ила выше входа. Послѣдняя труба подъ выходомъ изъ туннеля входитъ въ каналъ, направляющійся къ р. Фюрансъ.

Все это устройство изображено на фиг. 67. Большія трубы имѣютъ впускные концы при F, а выпускные при A. На впускномъ концѣ каждой трубы при F имѣется приводимая въ дѣйствіе сверху запорная задвижка. Выпускъ изъ трубы производится въ углубленный бассейнъ A, въ которомъ вытекающая съ большой скоростью вода должна замедлить свое движеніе. Двѣ пары задвижекъ или створныхъ кранокъ въ C и E служатъ для регулированія выпуска; обыкновенно употребляются только задвижки расположенныя въ C, а находящіяся въ

E задвижки служатъ для запиранія проводовъ въ случаѣ ремонта трубъ въ туннели, такъ что послѣднія задвижки бываютъ или совершенно открыты или совершенно закрыты, между тѣмъ какъ первыя имѣютъ извѣстное промежуточное положеніе, смотря пв надобности. При G имѣется чугунная рѣшатчатая рама для закрыванія впускной камеры. При спускѣ воды съ бассейна употребляются всѣ три трубы; сперва открываются обѣ 40 сантиметровыя трубы, которыми бассейнъ опоражнивается до уровня F, а затѣмъ въ раму при G вставляютъ шандорные брусья и опоражниваютъ переднюю камеру по нижней трубѣ, причемъ одновременно же можетъ быть произведена чистка и промывка, а также и осмотръ впуска при F.



Выпускной конецъ нижней штольни. Впускной конецъ нижней штольни.

Фиг. 67. Донный водоспускъ и приспособленіе для пріема воды въ резервуарѣ Gouffre d'Enfer.

Распредѣлительные шлюзы при выпускѣ показаны въ B, а на планѣ соотвѣтственно въ D. Выпускное отверстіе помощью большого открытаго канала сообщается съ р. Фюрансъ, а съ ключевымъ водоснабженіемъ г. Сентъ-Этьена оно сообщается посредствомъ небольшого крытаго канала *).

Чѣмъ лучше содержится плотина, тѣмъ дольше она сохраняется. Поэтому помимо первоначальной стоимости сооруженія необходимо имѣть въ виду нѣкоторый основной капиталъ, процентами съ котораго можно было-бы погасити сравнительно незначительные расходы по содержанію и надзору за плотиной Несомнѣненъ тотъ геологическій фактъ, что всѣ естественныя плотины разрушаются постепенно или путемъ катастрофъ; эта участь неминуема также и для всѣхъ искусственныхъ плотинъ, оставленныхъ безъ всякаго присмотра или находящихся подъ недостаточнымъ присмотромъ.

---

3. Устройство искусственнаго водяного хозяйства путемъ подражанія естественнымъ источникамъ.

Разсматривая какую-либо мѣстность съ цѣлью опредѣленія ея способности къ образованію грунтовыхъ водъ, необходимо, какъ мы видѣли выше въ Отд. I, прежде всего принять во вниманіе слѣдующія условія:

*) Дальнѣйшія подробности объ этомъ сооруженіи помѣщены въ замѣткѣ Oelwein'a въ „Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch. Ver." за 1886 г., т. 2, стр. 9.

1. Положеніе данной мѣстности относительно направленія дождевыхъ вѣтровъ (см. отд. I, гл. 3), или соотвѣственно высоту осадковъ въ данной мѣстности (отд. I, гл. 3).

2. Климатъ мѣстности, и соотвѣтственно испареніе жидкой воды и поглощеніе ея растительнымъ міромъ (отд. I, гл. 2).

3. Стокъ воды съ поверхности почвы, а также и водопроницаемость почвы (отд. I, гл. 4, 5 и 6).

4. Геогностическое строеніе почвы, по которому можно судить о теченіи остающейся въ почвѣ въ жидкомъ состояніи инфильтраціи (отд. I, гл. 7).

5. Величину имѣющагося для водяного хозяйства подпочвеннаго резервуара (отд. I, гл. 6).

Опредѣливши эти условія, мы получаемъ всѣ требуемыя нами общія данныя относительно свойствъ (отд. I, гл. 8 и 9), количества и постоянства находящейся въ данной мѣстности грунтовой воды.

Выше (см. отд. I, гл. 10 и 11) мы разсмотрѣли теченіе грунтовыхъ водъ подъ поверхностью почвы и появленіе ихъ опять на дневную поверхность. При этомъ мы нашли, что вода при своемъ движеніи избираетъ себѣ тотъ путь, на которомъ при извѣстной комбинаціи остальныхъ условій она встрѣчаетъ наименьшее сопротивленіе.

Соотвѣтственно этому основному положенію образующійся или существующій подъ почвой горизонтъ грунтовыхъ водъ въ извѣстной степени даетъ намъ картину орографическаго рельефа нашей земной поверхности, безпрерывно колеблясь въ извѣстныхъ предѣлахъ, но рѣдко прерываясь. Колодцы, прорытые или пробуренные на плоскихъ возвышенностяхъ или на высокихъ горахъ, достигаютъ этого горизонта только на значительныхъ глубинахъ; на равнинахъ-же и низменностяхъ этотъ горизонтъ расположенъ близко отъ земной поверхности. Въ горахъ вода проникаетъ черезъ почву въ сравнительно небольшихъ количествахъ и очень часто выступаетъ на горныхъ склонахъ въ видѣ ключей, увеличивая, по мѣрѣ опусканія внизъ, количество воды въ открытыхъ водяныхъ потокахъ, рѣкахъ и ручьяхъ; точно также всѣ водяные потоки, безпрерывно текущіе подъ поверхностью почвы, постепенно опускаются все ниже и ниже въ долины, гдѣ они скопляются въ находящихся тамъ наносныхъ отложеніяхъ. Въ зависимости отъ притоковъ съ горъ и отъ данныхъ условій истока въ долинѣ эти потоки заполняютъ наносы на большую или меньшую высоту совершенно также, какъ наши рѣки заполняютъ тѣ бассейны озеръ, чрезъ которые они должны протекать. Короче сказать, подъ почвой образуется совершенно аналогичное водяное хозяйство, какое мы можемъ наблюдать въ открытыхъ водоемахъ.

Точно такимъ же путемъ, какимъ въ естественныхъ предѣлахъ, т. е. при данныхъ мѣстныхъ условіяхъ, можно частью или вполнѣ отклонять рѣки отъ ихъ начальнаго теченія, запруживать ихъ, образовать искусственные сборные бассейны, и вообще производить извѣстныя дѣйствія надъ открыто текущей водой, мы можемъ также ослаблять существующій иногда подпоръ грунтовыхъ водъ и вообще производить въ нихъ извѣстныя измѣненія, отвѣчающія опредѣленнымъ цѣлямъ. Тамъ, гдѣ природа не допускаетъ проявленія ключей, мы изучаемъ и узнаемъ причины этого, и если сдѣлаемъ недодѣланное природой, то получатся ключи. Въ тѣхъ случаяхъ, когда вода течетъ глубоко подъ землей, и требуются значительныя паденія для провода небольшихъ количествъ ея, мы

можемъ направлять ее по другимъ путямъ съ меньшими сопротивленіями; если удовлетворено приведенное нами основное положеніе, то вода приметъ направленіе по этимъ именно путямъ. Если, наоборотъ, мы создадимъ препятствія теченію грунтовыхъ водъ. то онѣ запрудятся въ почвѣ. Такимъ образомъ, если въ какомъ-нибудь мѣстѣ имѣется въ распоряженіи почвенный резервуаръ для грунтовыхъ водъ, мы можемъ наполнять его водой точно такимъ же путемъ, какимъ мы создаемъ искусственныя водохранилища подпоромъ открыто текущихъ потоковъ и запруживаніемъ долинъ. Еще больше. Если въ какой-либо области осадковъ, служащей для питанія почвенныхъ инфильтрацій, оказывается недостаточное количество выпадающихъ дождей, и при этомъ она прорѣзывается открытыми водоемами, то мы можемъ употреблять эти послѣдніе для орошенія области осадковъ и провести просачивающуюся воду въ подпочвенный потокъ, къ этому именно мѣсту, гдѣ мы ею пользуемся.

Примѣняемый при этомъ способъ частью извѣстенъ уже съ давнихъ временъ. Прежде всего пробуреніе или прошурфованіе ключей представляетъ собой ничто иное, какъ создаваніе для текущихъ подъ землей грунтовыхъ потоковъ искусственнаго пути для выхода ихъ на дневную поверхность. Совершенно аналогичный этому способъ состоитъ въ искусственномъ полученіи воды изъ естественныхъ грунтовыхъ резервуаровъ какъ механическимъ поднятіемъ воды, такъ и устройствомъ водосборовъ. Менѣе извѣстны способы подземного скопленія водныхъ запасовъ искусственными средствами, хотя замѣна недостаточныхъ количествъ дождей орошеніемъ водопоглощающихъ почвенныхъ слоевъ во многихъ мѣстахъ существуетъ уже съ весьма давнихъ временъ.

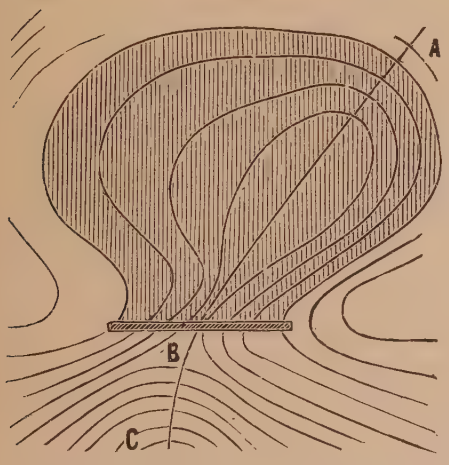
Если существующія грунтовыя воды во всякое время соотвѣтствуютъ той потребности, для которой устраиваются водосборныя сооруженія, то ограничиваются простымъ пользованіемъ имѣющимися запасами. причемъ получаются обдѣлки ключей и сборы грунтовыхъ водъ подробно описываемые нами ниже (см. гл. 4, 6, 7 и 8). При этомъ весьма существенно только одно условіе, а именно: образованіе воды въ подпочвѣ, т. е. водоносный грунтовый потокъ или соотвѣтственно притокъ къ ключамъ, в о в с я к о е в р е м я должно быть больше тѣхъ количествъ воды, которыя мы безпрерывно заимствуемъ изъ нея. Если это условіе удовлетворено, то происходящее вслѣдствіе заимствованія воды нарушеніе равновѣсія подпочвеннаго потока не имѣетъ вліянія на его истощеніе. Совсѣмъ иное явленіе произойдетъ въ томъ случаѣ, когда образованіе или притокъ грунтовыхъ водъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ намъ требуются опредѣленныя ихъ количества, в р е м е н а м и и л и п о с т о я н н о меньше этихъ количествъ. Этотъ случай мы разсмотримъ нѣсколько поближе.

Здѣсь цѣль можетъ быть достигнута только двоякимъ путемъ: если образованіе или притокъ грунтовыхъ водъ только в р е м е н а м и м е н ь ш е потребности, то необходимо нѣсколько у р е г у л и р о в а т ь в о д я н о е х о з я й с т в о; если же оно п о с т о я н н о м е н ь ш е, то намъ необходимо разсмотрѣть, ч т о и м е н н о п р и р о д а м о г л а б ы с д ѣ л а т ь при данныхъ условіяхъ для доставленія количества воды, соотвѣтствующаго нашимъ потребностямъ. Такимъ образомъ мы выяснимъ себѣ, можемъ ли мы искусственнымъ путемъ пополнить этотъ пробѣлъ. Насколько раціонально будетъ выполненіе этого сооруженія съ экономической точки зрѣнія, необходимо подробно разсмотрѣть въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ; отсюда видно, что никакихъ общихъ правилъ по этому вопросу привести нельзя.

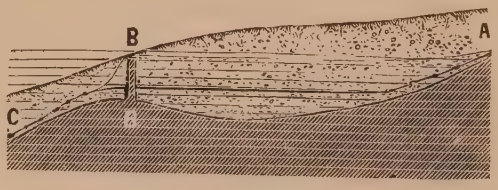
Чтобы составить себѣ ясное понятіе объ этомъ вопросѣ, припомнимъ здѣсь разсмотрѣнныя нами выше (см. гл. 1) венеціанскія цистерны, въ которыхъ мы видимъ способъ полнаго подражанія природѣ. Здѣсь на непроницаемый имѣющій видъ сосуда подстилающій слой мы насыпаемъ извѣстное количество песку и промежутки между песчинками помощью атмосферныхъ осадковъ или другихъ притоковъ заполняемъ водой, точно такъ же, какъ это происходитъ естественнымъ путемъ, когда атмосферные осадки попадаютъ на проницаемый слой, подстилаемый непроницаемой породой (отд. I, гл. 5). Притомъ, расходъ и потери въ цистернѣ обусловливаютъ собой совершенно опредѣленную ея емкость, вычисленіе которой мы здѣсь вторично разсматривать не будемъ. Такія же точно условія имѣютъ мѣсто въ естественныхъ грунтовыхъ резервуарахъ; въ этомъ случаѣ только къ потерямъ нужно отнести тѣ количества воды, которыя стекаютъ безполезно, т. е. просачиваются въ неизвѣстныя намъ пока мѣста.

Чѣмъ больше объемъ песку въ цистернѣ, тѣмъ вѣрнѣе — какъ мы это видѣли выше—при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, будетъ безпрерывное полученіе воды. Доводы, говорящіе противъ увеличенія емкости цистернъ, въ виду качества воды, при грунтовыхъ резервуарахъ совершенно исчезаютъ: если мы произвольно можемъ увеличивать грунтовые резервуары, то можемъ также произвольно регулировать расходованіе воды.

Представимъ себѣ грунтовый потокъ, опредѣляемый изображеннымъ на фиг. 68 планомъ отмѣтокъ или высотъ поверхности грунтовыхъ водъ. Видъ этой поверхности можетъ обусловливаться перемежаніемъ расположенныхъ на непроницаемомъ слоѣ крупнаго гравія съ мелкими песками, глинистыми



Фиг. 68. Планъ высотъ уровня грунтовыхъ водъ.



Фиг. 69. Разрѣзъ ABC.

слоями и проч.; но съ другой стороны видъ этой поверхности можетъ быть частью или вполнѣ опредѣленъ подстилающимъ непроницаемымъ слоемъ. Разсмотримъ послѣднее условіе въ предположеніи однороднаго крупнозернистаго водоноснаго слоя. Въ взятой по направленію ABC профили (фиг. 69) поверхность грунтовыхъ водъ изобразится линіей ABC. При однородномъ крупнозернистомъ водоносномъ слоѣ истокъ къ C будетъ относительно весьма быстрый, и все теченіе будетъ имѣть тотъ характеръ, что нѣкоторое время послѣ продолжительныхъ дождей количество истекающей воды будетъ весьма значительно, а послѣ засухи оно, наоборотъ, будетъ весьма мало. Если потребность въ водѣ меньше средней продуктивности, но больше наименьшей временной продуктивности грунтоваго потока, то можно совершенно точно вычислить величину требуемаго искусственнаго резервуара, который былъ бы въ состояніи установить

равновѣсіе (см. гл. 1). Подобный, а если только возможно, то и болѣе крупныхъ размѣровъ, резервуаръ можетъ быть полученъ устройствомъ водоподпорной плотины или запруды BB′, достигающей до непроницаемаго слоя, съ которымъ онъ долженъ быть плотно связанъ. Если брать воду изъ резервуара, напр., помощью буровой скважины въ B, то его содержимое во время малаго притока служитъ пополненіемъ недостающаго для нормальной потребности количества воды; резервуаръ пополняется, когда изъ B будетъ заимствоваться воды меньше, нежели притекаетъ по грунтовому потоку въ періоды обильной инфильтраціи.

Если по чисто техническимъ или экономическимъ соображеніямъ окажется невозможнымъ опускать подпорную плотину до непроницаемаго слоя, то часто можно удовольствоваться опущеннымъ на меньшую глубину прегражденіемъ для подпора грунтоваго потока и образованія болѣе крупнаго резервуара съ цѣлью уравниванія измѣняющагося притока съ расходомъ.

Грунтовый потокъ, равновѣсіе котораго нарушено расходомъ воды въ глубоко лежащемъ мѣстѣ потока, при извѣстномъ способѣ расхода изъ него воды можетъ оказаться недостаточнымъ для данной потребности. Въ этомъ случаѣ уравниваніе притока съ расходомъ, всегда не совершенное, можетъ быть достигнуто временнымъ прекращеніемъ расхода изъ даннаго мѣста. Ясно, что если расходъ производится на значительной глубинѣ и постоянно на одномъ и томъ же мѣстѣ, то при обильномъ притокѣ воды къ грунтовому потоку отъ него заимствуется количество воды, превышающее потребность; если же притоки малы, то пріемная труба даетъ мало воды, и водоснабженіе оказывается недостаточнымъ. Если, наоборотъ, вода получается изъ двухъ мѣстъ, изъ которыхъ одно расположено выше, а другое ниже, и если во время наибольшаго притока ниже лежащее мѣсто расхода закрывается, такъ какъ въ этомъ случаѣ вся потребность можетъ быть удовлетворена изъ верхняго мѣста расхода, то впослѣдствіи, когда притоки уменьшатся, при открываніи нижележащаго мѣста расхода можно воспользоваться запасомъ скопленной въ водоносномъ слоѣ воды.

Весьма часто въ подобныхъ случаяхъ примѣняется такое устройство, при которомъ ниже лежащее мѣсто расхода воды остается единственнымъ, а предупрежденіе притеканія излишней противъ потребности воды достигается запираніемъ расположенной за мѣстомъ расхода задвижки въ періодъ наибольшаго притока.

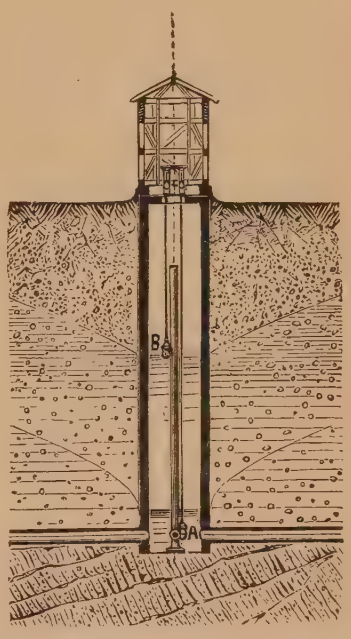
Подземныя запруды упомянутаго вида устраивались во многихъ мѣстахъ съ различнымъ успѣхомъ. Безуспѣшными или безъ ожидаемыхъ успѣховъ почти всегда оказались тѣ сооруженія, при устройствѣ которыхъ недостаточно точно оріентировались въ законахъ движенія грунтовыхъ водъ или-же допускали ошибку относительно перехватыванія проходящихъ черезъ данное поперечное соченіе долины грунтовыхъ водъ (какъ это будетъ указано ниже (отд. IV, гл. 20). Условія успѣшности сооруженія состоятъ въ расположеніи горизонталей поверхности грунтовыхъ водъ, подобномъ изображенному на ф. 68, и въ мощномъ лежащемъ надъ этой поверхностью нѣсколько наклонномъ водоносномъ слоѣ.

Если послѣдній создается искусственно въ видѣ добавочныхъ песчаныхъ или хрящевыхъ слоевъ, насыпанныхъ сзади запруды надъ горизонтомъ грунтовыхъ водъ, то получается сооруженіе въ родѣ венеціанской цистерны *).

Примѣромъ уравниванія притока и расхода путемъ временнаго закрыванія мѣста расхода можетъ служить водопріемное сооруженіе города Мюльгейма въ Баденѣ **). Пріемъ воды производится выше Обервейлера въ долинѣ Клембаха у подошвы Блауена въ наносахъ, находящихся тамъ въ громадной массѣ и покрытыхъ лугами. Эти луга временами заливаются, и вскорѣ послѣ этого во всемъ подпочвенномъ резервуарѣ горизонтъ грунтовыхъ

*) Ср. также замѣтку Disselhoff'a въ „Journ. f. Gasbel. u. Wasservers." за 1880 г. стр. 523.
**) Проектировано и выполнено авторомъ въ 1887—89 г.

водъ подымается. Расположенный въ мѣстѣ пріема воды сборный колодецъ имѣетъ устройство, показанное на ф. 70. Послѣ продолжительныхъ дождей или послѣ наступившаго заливанія луга задвижка при А закрывается. Высота грунтовыхъ водъ постепенно подымается и достигаетъ того положенія, при которомъ истеченіе воды происходитъ черезъ расположенную при В задвижку. Въ то время какъ истокъ изъ А въ подобныхъ случаяхъ составляетъ 20—25 литр. въ секунду, расходъ при В составляетъ только 7—10 литровъ въ секунду, при чемъ количество воды 7 литр. въ секунду какъ разъ соотвѣтствуетъ наибольшей потребности городка. Разница въ 13—15 литр. въ секунду сперва расходуется на подыманіе уровня грунтовыхъ водъ въ ближайшемъ сосѣдствѣ колодца. Когда здѣсь произошло поднятіе уровня воды, то постепенно происходитъ дальнѣйшее поднятіе горизонта въ дальше расположенныхъ областяхъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и увеличеніе притока къ В въ упомянутыхъ предѣлахъ. При наступленіи засухи скопленные запасы оказываются весьма полезными, такъ какъ поглощеніе воды луговой растительностью весьма велико. Впрочемъ, въ данномъ случаѣ описанное устройство служитъ еще для другой весьма важной цѣли. Точка В лежитъ значительно выше дна удаленной на 150 метр. р. Клеммбахъ и сосѣднихъ съ ней луговъ, не составляющихъ собственности города. Послѣ прекращенія заливанія ближайшихъ къ колодцу луговъ (принадлежащихъ городу), недостающее здѣсь количество воды можетъ притекать къ сборному сооруженію изъ дальнѣйшихъ, не принадлежащихъ городу, заливныхъ луговъ. Но запруженіемъ горизонта грунтовыхъ водъ до уровня, лежащаго выше В, вполнѣ достигается то, что являющіеся при разливѣ излишки стекаютъ не въ колодецъ, а въ ручей. Просачивающаяся въ почву вода отъ разливовъ на болѣе значительныхъ разстояніяхъ проходитъ черезъ такой дѣйствительный фильтръ, что даже во время разливовъ вода въ сборномъ колодцѣ оказывается почти химически чистой.



Фиг. 70. Добываніе грунтовой воды въ Мюльгеймѣ (въ Баденѣ).

Использованіе обильныхъ атмосферныхъ осадковъ на пути естественной ихъ фильтраціи посредствомъ искусственныхъ открытыхъ водоподпорныхъ плотинъ встрѣчается въ практикѣ довольно часто. Какъ на примѣръ подобнаго примѣненія укажемъ здѣсь на способъ, часто примѣняемый въ Капскихъ колоніяхъ и описанный Гэмблемъ *). Тамъ во многихъ мѣстностяхъ находятся прослойки вулканическихъ породъ, распредѣленныя длинными жилами по водопроницаемымъ породамъ; у выходныхъ концовъ этихъ жилъ образуются ключи, которые, однако, въ сухое время изсякаютъ. Для обезпеченія себѣ притока изъ ключей и въ сухое время крестьяне этихъ мѣстностей насыпаютъ плотины на извѣстномъ разстояніи сзади этихъ жильныхъ породъ, получая, такимъ образомъ, сборные бассейны для дождевой воды, которая постепенно просачивается въ проницаемую подпочву, поддерживая постоянство выступающихъ у выходныхъ концовъ ключей и соотвѣтственно увеличивая ихъ продуктивность.

Дюма **) устроилъ подобнымъ путемъ сборъ воды по системѣ, описываемой имъ слѣдующимъ образомъ:

Желая воспользоваться выпадающими дождями, онъ для этой цѣли:

1) запруживаетъ стекающіе въ долинахъ водяные потоки, устраивая плотины или запруды, которыя при всѣхъ обстоятельствахъ въ состояніи удержать эти воды даже при самыхъ сильныхъ дождяхъ.

*) Gamble, Water supply in the Capcolony. Min Proceed. Inst. Giv. Eng. за 1887 г. н. 64 стр. 53.

**) Dumas., S. Der Brunneningenieur. Weimar. 1857.

2) Помощью отводныхъ и фильтрующихъ канавъ, расположенныхъ ниже запрудъ, эти воды подъ землей профильтровываются и скопляются уже въ видѣ воды, свободной отъ всякихъ примѣсей.

3) Помощью продольной канавы, связывающей между собой другія канавы и образующей собой какъ бы главный водоемъ, эти воды направляются въ подземный бассейнъ или хранилище, изъ котораго онѣ уже распредѣляются къ мѣстамъ расхода.

Искусственное усиленіе истока ключей производится также временной или постоянной инфильтраціей изъ почти горизонтальныхъ, проведенныхъ по горнымъ склонамъ, канавъ, которыя собираютъ поверхностныя воды, и отъ просачиванія послѣднихъ, по прошествіи нѣкотораго времени, образуется грунтовая вода. При извѣстныхъ благопріятныхъ путяхъ проникапія и просачиванія получаемыя такимъ образомъ грунтовыя воды оказываются весьма хорошими по своимъ качествамъ; само собой понятно, что качества получаемой воды будутъ тѣмъ лучше, чѣмъ меньше некапилярныхъ промежутковъ содержится въ служащей водоноснымъ слоемъ породѣ, и обратно. Конечно, наклонъ слоевъ и непроницаемый слой должны образовать стокъ воды къ надлежащимъ мѣстамъ. Это усиленіе ключей главнымъ образомъ имѣетъ значеніе въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ существуютъ высоко расположенные перемежающіеся ключи, дающіе весьма обильные истоки при таяніи снѣговъ или послѣ продолжительныхъ дождей и, наоборотъ, совершенно высыхающіе или дающіе весьма малые истоки въ сухое время года. Если путь, направляющій эту воду къ ниже лежащимъ истокамъ, достаточно длиненъ, то они обезпечиваютъ лежащія подъ ними сборныя мѣста притокомъ весьма доброкачественной воды въ періоды наибольшей потребности, такъ какъ до выступленія этой воды на дневную поверхность проходитъ нѣсколько мѣсяцевъ.

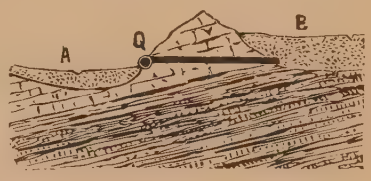
Замѣтимъ здѣсь мимоходомъ, что описанный способъ проведенія воды къ подпочвѣ примѣняется не только для цѣлей водоснабженія, но также и для увлажненія почвы въ лѣсныхъ насажденіяхъ и проч. При водоснабженіи города Висбадена въ области ключей выше фазанника, состоящей почти исключительно изъ лѣса, устроено нѣсколько системъ открытыхъ канавъ, направляющихся по склонамъ долины съ весьма небольшими уклонами. Начиная съ весны и до средины іюля въ нихъ стекаетъ вода изъ выше лежащихъ ключей. Вода, медленно протекая по канавамъ, постепенно просачивается въ обнажающіеся въ долинѣ слои и послѣ продолжительнаго пребыванія внутри породы попадаетъ въ уложенныя глубоко подъ подошвой долины сборныя галлереи.

При непроницаемой подпочвѣ инфильтрація въ почву дѣлается невозможной; если на такой почвѣ произведено орошеніе или заливаніе ея водой, то послѣдствіемъ будетъ обращеніе мѣстности въ болото. Въ подобныхъ случаяхъ необходимо предварительное дренированіе, которымъ даже самыя крѣпкія почвы разрыхляются и дѣлаются болѣе или менѣе проницаемыми. Соображенія относительно качествъ воды задерживаемой въ дренированной почвѣ, указываютъ на требуемую глубину заложенія дренажа по меньшей мѣрѣ въ 1, 5—2 метр. или больше. Чѣмъ глубже заложенъ дренажъ, тѣмъ вѣрнѣе будетъ устранено наибольшее препятствіе къ примѣненію подобныхъ сооруженій для нашей цѣли, а именно: зарастаніе ихъ корнями. Во всякомъ случаѣ, при вычисленіи емкости подобныхъ почвенныхъ резервуаровъ слѣдуетъ принять наибольшее количество воды приблизительно 5% объема почвы; кромѣ того, почва, для подобнаго скопленія воды, должна быть совершенно чиста.

Въ общемъ слѣдуетъ здѣсь замѣтить, что приведенные выше практическіе методы искусственнаго усиленія ключей или образованія ихъ вновь больше примѣнимы при малыхъ сооруженіяхъ, нежели при болѣе крупныхъ, такъ какъ

самый характеръ вспомогательныхъ мѣръ наиболѣе соотвѣтствуетъ именно такимъ небольшимъ сооруженіямъ. Тѣмъ не менѣе, какъ было упомянуто выше, случаи необходимости ихъ примѣненія вовсе не рѣдки. Само собой разумѣется, что въ большинствѣ случаевъ можетъ быть сохранена даже форма ключеваго истока.

Весьма большого вниманія заслуживаютъ приведенные въ началѣ этой главы принципы въ примѣненіи ихъ къ возстановленію въ подземныхъ водяныхъ хозяйствахъ соотношеній, нарушенныхъ неизбѣжными работами по сбору воды. Представимъ себѣ случай, изображенный на фиг. 71, гдѣ при Q находится небольшой ключъ. Геогностическія изслѣдованія показали, что онъ выходитъ изъ водопроницаемой породы, подстилаемой непроницаемымъ слоемъ. Въ A и B могутъ находиться мощныя отложенія гравія, образующаго собой водоносные пласты для большихъ грунтовыхъ истоковъ. Прежде всего понятно, что находящаяся подъ B грунтовая вода проходитъ къ A черезъ проницаемую породу. Ключъ Q своимъ существованіемъ обязанъ проникающей въ проницаемую породу инфильтраціи, а также и грунтовой водѣ, притекающей изъ наносовъ B. Если притокъ изъ ключа недостаточенъ, то по направленію отъ A до B необходимо должна быть проведена штольня для увеличенія количества воды, если только желательно сохранять свободный истокъ. Другого средства здѣсь нѣтъ.



Фиг. 71.

Результатъ этого способа сперва будетъ весьма благопріятенъ. Теперь посредствомъ штольни не только скопится большая часть стекавшей къ A воды, но также и грунтовая вода изъ B теперь гораздо легче можетъ проходить черезъ штольню, чѣмъ раньше черезъ щели и промежутки проницаемой породы.

Но облегченіе истока будетъ имѣть своимъ послѣдствіемъ быстрое опоражниваніе находящагося въ наносахъ подъ B грунтоваго резервуара, значительное содержаніе воды въ которомъ теперь будетъ уже гораздо меньше, вслѣдствіе чего являются указанныя выше (см. отд. I гл. 7) неудобства. Здѣсь появится новое состояніе равновѣсія, и выступающій послѣ проведенія штольни при Q ключъ во время большихъ инфильтрацій почвы или спустя короткое время послѣ нихъ будетъ давать количество воды, значительно превышающее потребность, между тѣмъ, какъ во время засухи онъ будетъ давать воды гораздо меньше, нежели онъ могъ давать при прежнемъ состояніи равновѣсія.

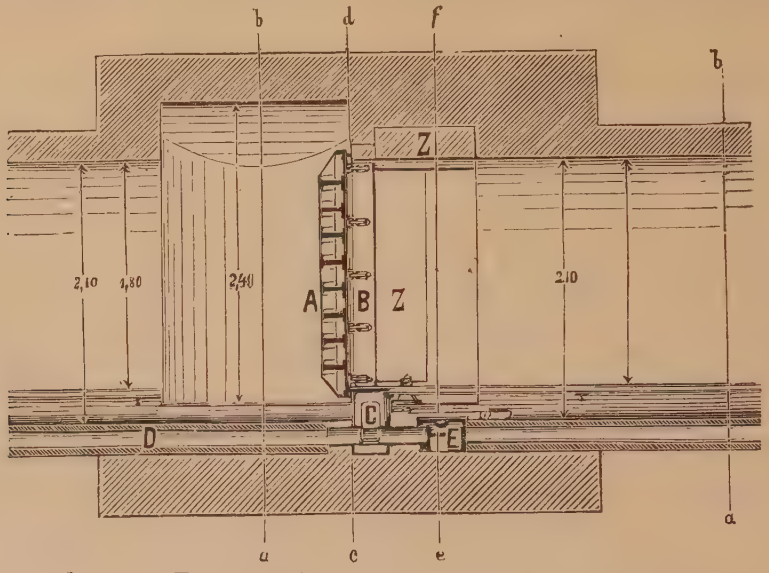
При этомъ получится весьма неправильное и не постоянное водяное хозяйство, между тѣмъ, какъ обыкновенно, во время засухи, потребность въ водѣ бываетъ наиболѣе сильная.

Удовлетвореніе этой потребности въ подобныхъ случаяхъ достигается устроенной въ штольнѣ искусственной запрудой, которая временами уменьшаетъ или совершенно прекращаетъ притоки изъ B и одновременно съ этимъ временами допускаетъ полный притокъ. При надлежащемъ устройствѣ подобнаго сооруженія водяное хозяйство въ грунтовомъ резервуарѣ B въ опредѣленныхъ предѣлахъ можетъ быть регулировано согласно потребности.

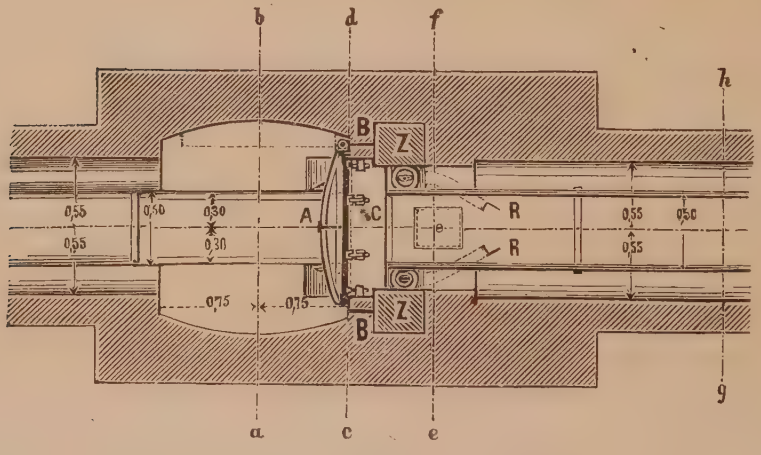
Прекраснымъ примѣромъ подобнаго рода сооруженія можетъ служить водоснабженіе г. Висбадена.

По изслѣдованіямъ мѣстнаго геолога Кора, въ Висбаденѣ служащія для тамошняго водоснабженія породы принадлежатъ къ такъ называемой додевонской системѣ. Слои наклонены

подъ 60° до 90° къ сѣверу. Направленіе слоевъ параллельно гребню горнаго кряжа и идетъ такимъ образомъ отъ Нидервальда до Фельдберга, т. е. отъ западо-юго-запада къ востоку-сѣверо-востоку. Наиболѣе древнія породы, образующія гору возлѣ самаго города къ сѣверу, составляютъ серицитъ; за ними сверху слѣдуютъ филлиты. Собственно гребень горы состоитъ изъ кварцита (сѣрой вакки) и простирается отъ Нидервальда почти по прямой линіи къ Гам-



Фиг. 72. Продольный разрѣзъ черезъ затворъ штольни.

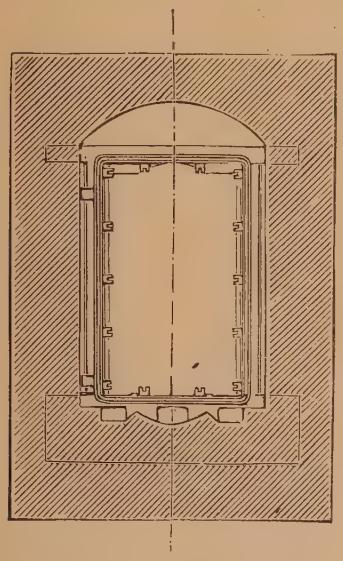


Фиг. 73. Горизонтальный разрѣзъ затвора штольни.

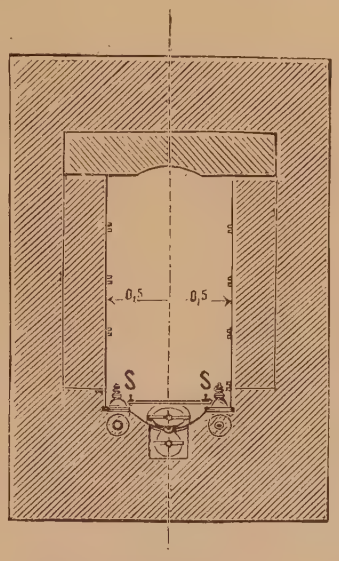
бургу. Вся внутренность породы проникнута безчисленными щелями и трещинами, расположенными весьма неравномѣрно. Особенно богатъ трещинами кварцитъ; расположенные къ югу отъ него слои серицитовъ и филлитовъ имѣютъ меньше щелей, направленныхъ не перпендикулярно направленію слоевъ, и образуютъ собой родъ плотины или бассейна для находящейся въ щеляхъ кварцита воды. Вслѣдствіе этой запруды на краю горы обнаруживаются ключи-водосливы грунтоваго резервуара; большая же часть почвенныхъ инфильтрацій по направленію горныхъ слоевъ (при ихъ значительномъ превышеніи надъ сосѣдними третичными отложеніями и надъ ниже лежащими наносами долины Рейна) должна опускаться въ Майнцскій бассейнъ.

Принимая въ соображеніе эти условія, завѣдывавшій водоснабженіемъ г. Висбадена, Винтеръ, въ 1875 году предложилъ провести въ горѣ штольню, пересѣкающую слои кварцита

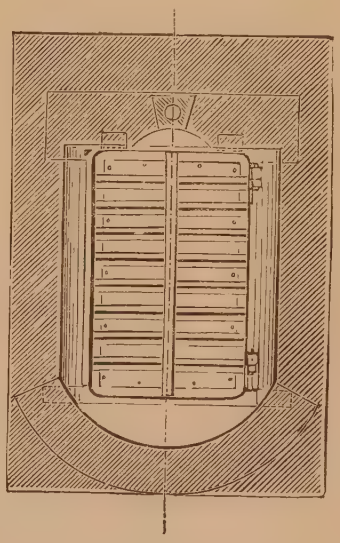
въ поперечномъ направленіи и по возможности глубже, съ цѣлью проведенія на дневную поверхность безполезно просачивающейся грунтовой воды. Эта штольня была заложена въ слояхъ серицита на высотѣ отъ уровня моря 20 метр., такъ что истоки могли еще попасть въ сборное хранилище водопроводнаго сооруженія подъ естественнымъ напоромъ. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ штольня пересѣкала ключи, стѣнки ея снабжались щелями, черезъ которыя истоки ключей свободно поступали въ штольню. Послѣ прохода слоевъ серицита и филлита общей длиной 1980 метр. встрѣтили передній слой кварцитовъ на глубинѣ 165 метр. подъ поверхностью земли. Въ началѣ августа 1887 г. штольня имѣла длину около 2650 метр. и достигла сѣверной стороны цѣпи кварцита. Въ настоящее время штольня имѣетъ длину около 3000 метровъ.



Фиг. 74. Разрѣзъ cd.

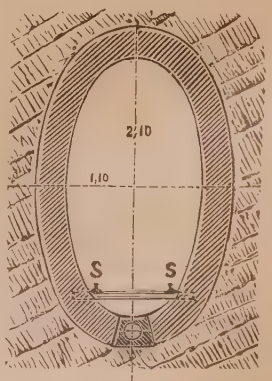


Фиг. 75. Разрѣзъ cf.



Фиг. 76. Разрѣзъ ab.

Устроенный такимъ образомъ сборъ вполнѣ оправдалъ всѣ ожиданія. Слои серицита и филлита давали весьма мало воды, а слои кварцита, наоборотъ, давали много воды. Какъ и можно было предвидѣть, наибольшія количества притоковъ получались тотчасъ же послѣ перерѣзки слоевъ; послѣ стока большей части запаса грунтового резервуара обнаруживалась весьма нежелательная параллельная зависимость между притоками изъ почвенной инфильтраціи и обиліемъ воды. Поэтому было прибѣгнуто къ опыту рѣшенія вопроса о скопленіи излишнихъ количествъ воды, притекающихъ зимой и весной, для удовлетворенія усиленной потребности въ теченіе лѣтнихъ мѣсяцевъ.



Фиг. 77. Поперечный разрѣзъ штольни.

Для рѣшенія этой задачи прибѣгли къ примѣненію затворовъ штольни (шлюзныхъ воротъ), изображенныхъ на ф. 72—77 и впервые, насколько намъ извѣстно, примѣненныхъ въ Висбаденѣ.

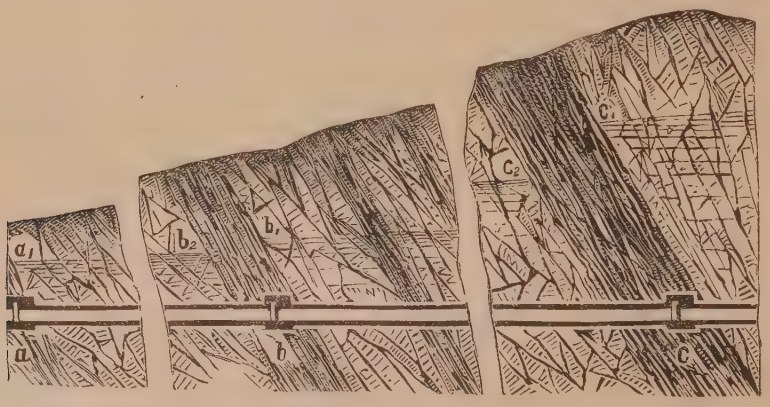
Фиг. 73—74 изображаютъ продольный и горизонтальный разрѣзъ подобнаго затвора штольни. Движущаяся на петляхъ дверца A изъ листового желѣза, скрѣпленная со стороны воды угловымъ желѣзомъ и ребрами, примыкаетъ къ резиновой прокладкѣ, находящейся на прочной чугунной дверной рамѣ B. Со стороны дневной поверхности вокругъ всей дверцы закрѣплены подвижные болты съ задержками, которые укладываются въ углубленія или гнѣзда, находящіяся въ чугунной рамѣ и показанныя на разрѣзѣ cd (фиг. 74). Помощью навинчиваемыхъ гаекъ каждый отдѣльный болтъ можетъ быть натянутъ, при чемъ дверца плотно прижимается къ резиновой прокладкѣ, что черезъ нѣкоторое время происходитъ само собой подъ напоромъ воды. Въ нижней части рамы имѣется камера C, открытая со стороны воды, а со стороны дневной поверхности закрываемая съ правой и лѣвой стороны задвижками, соединенными съ ней помощью флянцевъ; въ срединѣ она снабжена

отверстіемъ, закрываемымъ крышкой (фиг. 75). Постановкой задвижки, спускная труба которой выходитъ на подошву штольни, какъ показано на ф. 73, можно заимствовать произвольныя количества воды изъ того запаса, который подъ извѣстнымъ напоромъ находится за затворомъ. Подъ подошвой штольни проходитъ черезъ камеру С цементная труба діаметромъ 120 миллим., которая подобно чугунной трубѣ оканчивается въ шахтѣ Е, гдѣ она снабжена съемной запорной крышкой, какъ показано на ф. 72 и 75. Помощью этой крышки можетъ быть отдѣльно спущена часть находящейся выше нея воды, что, впрочемъ, имѣло значеніе только во время постройки. Шахта С со стороны подошвы штольни закрыта. Разрѣзъ ab (фиг. 76) показываетъ видъ запорной дверцы со стороны воды, а разрѣзъ gh (фиг. 77) показываетъ нормальный поперечный разрѣзъ штольни, на которомъ показанъ уложенный на желѣзныхъ поперечинахъ рельсовый путь для перевозки строительныхъ матеріаловъ и проч. по штольнѣ.

Стѣнки штольни выложены изъ хорошо обожженнаго кирпича на цементномъ растворѣ; устроенная непосредственно за дверной рамой стѣнка Z (фиг. 72 и 73) изъ песчаника съ залитыми свинцомъ швами вполнѣ обезпечиваетъ водонепроницаемость затвора. Имѣющееся въ дверцахъ выпускное приспособленіе служитъ для удаленія скопляющагося въ штольнѣ воздуха; для опредѣленія давленія или напора воды за дверцами имѣется манометръ, сообщенный со внутренностью штольни.

Такихъ затворовъ въ штольнѣ устроено два. При соотвѣтствующемъ примѣненіи этого устройства вода не можетъ больше стекать по обыкновенному своему пути; не только лежащія выше затвора части штольни тотчасъ же заполняются водой, но уровень воды постепенно подымается также въ сосѣднихъ щеляхъ породы приблизительно до той высоты, которую онъ занималъ до нарушенія равновѣсія путемъ расхода воды. Прежнее состояніе не можетъ быть опять вполнѣ достигнуто, такъ какъ по свойству породъ между ними встрѣчаются трудно проницаемые, но ни въ какомъ случаѣ не совершенно непроницаемые слои. Само собой разумѣется, что для устройства затворовъ были выбраны такія мѣста, гдѣ серицитовые и филлитовые слои были по возможности мало проницаемы; точно также при выполненіи было обращено весьма строгое вниманіе на надлежащую плотную связь каменной кладки со стѣнками породы.

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что наполненная водой штольня помощью щелей въ ея стѣнкахъ для истока ключей образовала связь съ водами внутри слоевъ породы всей горной области, начиная отъ наружнаго конца штольни до запорныхъ дверецъ. Этимъ обусловливается состояніе равновѣсія такого рода, что когда въ самомъ затворѣ штольни и надъ нимъ, а также и сбоку, вода стекать не можетъ, то горизонтъ грунтовыхъ водъ въ окружающей области



Фиг. 78.

необходимо долженъ образовать горизонтальную плоскость. Если, какъ это на самомъ дѣлѣ и происходитъ, стекаетъ только весьма мало воды, то горизонтъ грунтовыхъ водъ получаетъ весьма слабый наклонъ по направленію отъ конца штольни къ затвору. Поэтому, если желательно достигнуть увеличенія подъема горизонта грунтовыхъ водъ выше самой штольни при концѣ ея, т. е. если желательно получить болѣе значительный грунтовый резервуаръ въ почвѣ, то необходимо устроить нѣсколько такихъ затворовъ.

Нижній затворъ въ крайнемъ случаѣ запрудитъ воду до высоты aa_1 (фиг. 78), т. е. до такой высоты, при которой вода начинаетъ выходить въ видѣ ключей на расположенныя съ

боковъ штольни долины; но если одновременно будутъ устроены шлюзовые затворы штольни въ b и c, то вода можетъ быть подперта до высоты b_1 и c_1, гдѣ линія $a_1\ b_1\ c_1$ представляетъ собой обусловленную боковыми истоками продольную линію подпора. Въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось штольни, уровень грунтовыхъ водъ образуетъ профиль $a_1\ b_2\ b_1\ c_2$ и т. д.

Разстояніе между подпорными стѣнами опредѣляется природой слоевъ и высотой расположенія ключей, истекающихъ изъ нихъ сбоку. Пока всѣ эти затворы заперты, на каждый изъ нихъ, а также и на примыкающіе слои породы, будетъ дѣйствовать давленіе, равное разности напоровъ сосѣднихъ участковъ штольни.

Примѣненіе штольневыхъ затворовъ легко понять изъ приведеннаго ихъ описанія; зимой и весной закрытіемъ затворовъ подпочвенный резервуаръ напо́лняется, а лѣтомъ скопленный запасъ расходуется въ видѣ притока, дополнительнаго къ нормальному. Послѣ окончанія устройства первыхъ двухъ штолень въ 1890 г. былъ устроенъ третій каменный штольневой затворъ, о которомъ точныхъ данныхъ еще не имѣется. Практика этихъ устроенныхъ сооруженій дала весьма удовлетворительные результаты. По сообщенію строителя этихъ сооруженій городъ имѣетъ въ своемъ распоряженіи потребное ему количество воды даже и въ самое сухое лѣтнее время; сзади большого каменнаго затвора вода подперта на высоту до 133 метровъ.

Наконецъ, разсмотримъ вліяніе описанныхъ процессовъ на качество получаемой воды.

Вода, проходящая только по волоснымъ скважинамъ, съ одной стороны путемъ выщелачиванія заимствуетъ различныя вещества изъ водоноснаго слоя (см. отд. I, гл. 9), а съ другой стороны до и послѣ поступленія своего въ этотъ водоносный слой она встрѣчаетъ фильтръ, въ которомъ можетъ оставлять постороннія примѣси. Такимъ образомъ здѣсь происходятъ два противоположныхъ другъ другу процесса: загрязненіе воды содержащимися въ подпочвѣ нечистотами съ одной стороны и улучшеніе проникающей въ подпочву воды путемъ фильтрованія съ другой. Въ зависимости отъ того, который изъ этихъ процессовъ имѣетъ перевѣсъ при совокупномъ ихъ дѣйствіи, качество воды улучшается или ухудшается.

На это обстоятельство необходимо обратить особое вниманіе въ томъ случаѣ, когда подпочвенный резервуаръ путемъ орошенія наполняется открыто текущими водами. Въ этомъ случаѣ на первомъ планѣ стоитъ растительность, которая освобождаетъ воду отъ нѣкоторыхъ постороннихъ вредныхъ составныхъ частей; но это можетъ происходить только въ тѣ періоды времени, когда растенія пользуются этими веществами для своего роста. При прекращеніи роста растеній—въ нашемъ климатѣ зимой—это извлеченіе и израсходованіе частей воды прекращается.

Вмѣстѣ съ тѣмъ слѣдуетъ замѣтить, что растенія извлекаютъ изъ почвы нужныя имъ для питанія и роста вещества только до извѣстной ограниченной глубины. Если содержаніе подобныхъ примѣсей въ чистой почвѣ простирается глубже, (какъ, напр., въ подпочвѣ городовъ, на дворахъ и проч.), то онѣ выщелачиваются водой, вліяя такимъ образомъ на ея качества.

Такъ называемое очищеніе почвы, какъ оказывается, происходитъ почти исключительно при посредствѣ микроорганизмовъ; объ этихъ явленіяхъ намъ въ настоящее время еще очень мало извѣстно, но усердное изученіе дѣятельности этихъ организмовъ, привлекшей къ себѣ вниманіе ученыхъ изслѣдователей, въ близкомъ будущемъ выяснитъ намъ очень многое, касательно этого вопроса. Поэтому инженеру необходимо, по возможности, слѣдить за успѣхами этой отрасли естествознанія.

Насколько въ настоящее время извѣстно, освобожденіе воды отъ органическихъ веществъ путемъ непосредственнаго окисленія подъ дѣйствіемъ кислорода воздуха безусловно не происходитъ. Озонъ и перекись водорода могутъ играть нѣкоторую второстепенную роль при процессахъ очищенія. Главнымъ образомъ здѣсь играетъ роль минерализированіе или родъ гніенія органическихъ веществъ. Этотъ процессъ происходитъ при содѣйствіи микроорганизмовъ весьма медленно, если вода загрязнена безазотистыми составными частями животнаго происхожденія. Но такимъ путемъ всѣ содержащіяся въ почвѣ органическія вещества переходятъ въ азотистую и, наконецъ, въ азотную кислоту, причемъ послѣдняя не должна быть разсматриваема, какъ вредная примѣсь питьевой воды. Наоборотъ, всякая вода, въ которой этотъ процесъ превращенія еще не окончился, должна считаться болѣе или менѣе опасной для употребленія.

Въ настоящее время можно только сказать, что для орошенія почвы съ цѣлью примѣненія затѣмъ проникающей въ подпочву воды для водоснабженія (для питья) слѣдуетъ употреблять воду не мутную и не загрязненную животными извержениями или фабричными отбросами; подобное орошеніе цѣлесообразнѣе производить въ періоды роста растительныхъ культуръ. Получаемыя при этомъ впослѣдствіи подпочвенныя воды будутъ тѣмъ чище, чѣмъ мелкопористѣе и по природѣ своей чище фильтръ, черезъ который онѣ проходятъ до поступленія въ подпочвенные резервуары, и чѣмъ вообще горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ глубже подъ поверхностью почвы. Подпочва, состоящая изъ чистаго песку, для этой цѣли можетъ считаться наилучшей.

Прониканіе воды въ некапилярные промежутки породы будетъ тѣмъ опаснѣе для качествъ воды, чѣмъ крупнѣе эти промежутки и чѣмъ ближе они простираются къ горизонту грунтовыхъ водъ. Опасность уменьшается, когда эти промежутки достигаютъ незначительныхъ только глубинъ, начиная съ которыхъ щели породы заполнены ея детритомъ, образующимъ естественный фильтръ.

При всемъ томъ опытъ намъ показываетъ, что слишкомъ значительное и быстро происходящее опусканіе и поднятіе горизонта грунтовыхъ водъ не улучшаетъ качествъ воды, а скорѣе имѣетъ на нихъ вредное вліяніе (см. гл. 6). Меньше всего это вліяніе обнаруживается въ такъ называемыхъ первичныхъ горныхъ формаціяхъ, а больше всего въ глинистыхъ наносахъ съ богатымъ содержаніемъ органическихъ веществъ. Весьма важно, по нашему мнѣнію, обратить вниманіе и на это обстоятельство.

4. Полученіе воды изъ открытыхъ прѣсныхъ водоемовъ и обдѣлка выходящихъ на дневную поверхность ключей.

Открытые водоемы для цѣлей водоснабженія встрѣчаются на земной поверхности, независимо отъ морей, въ трехъ видахъ:

1) Въ видѣ рѣкъ (рѣчной воды).
2) Въ видѣ озеръ (озерной воды).
3) Въ видѣ ключей (ключевой воды).

Всѣ эти три рода водоемовъ временами или постоянно представляютъ собой смѣсь изъ поверхностной воды съ грунтовой, не исключая и ключей, въ которыхъ содержаніе послѣдней беретъ перевѣсъ. Разсмотримъ примѣненіе этихъ водоемовъ въ приведенномъ порядкѣ ихъ послѣдовательности.

1. Полученіе рѣчной воды.

Полученіе рѣчной воды для цѣлей водоснабженія имѣетъ весьма важное значеніе преимущественно въ томъ случаѣ, когда рѣка въ состояніи доставлять достаточное количество воды во всякое время и когда она расположена вблизи снабжаемой мѣстности. Первое условіе имѣетъ значеніе въ гигіеническомъ отношеніи, а второе—въ экономическомъ. Достаточное по своему обилію водоснабженіе представляетъ собой первое условіе для здоровья; питье даже превосходнѣйшей ключевой воды не можетъ предупреждать болѣзней, являющихся отъ нечистоты, пыли и вредныхъ испареній, если не имѣется достаточнаго количества воды для поливки, мытья, купанья и проч. Что въ экономическомъ отношеніи разсматриваемый здѣсь способъ водоснабженія представляетъ собой наивыгоднѣйшій способъ, не требуется никакихъ дальнѣйшихъ доказательствъ.

Но этимъ благопріятнымъ свойствамъ рѣчной воды противостоятъ многія другія, которыя предварительно должны быть изслѣдованы раньше, нежели рѣшиться на снабженіе какой-либо мѣстности рѣчной водой; къ этому вопросу мы прежде всего и перейдемъ.

Рѣки получаютъ свои воды частью изъ ключей и грунтовыхъ водъ, и частью изъ дождевыхъ водъ, стекающихъ по поверхности земли. Происходящія здѣсь явленія подробно разсмотрѣны нами выше (см. отд. I, гл. 4 и 5); эти явленія обусловливаютъ собой качества воды.

Температура. Если рѣка своимъ происхожденіемъ и началомъ обязана преимущественно ключамъ и грунтовымъ водамъ, то температура ея какъ лѣтомъ, такъ и зимой весьма замѣтно отличается отъ температуры внѣшняго воздуха и приближается къ средней годовой температурѣ данной мѣстности; въ другихъ же случаяхъ мы видимъ параллельную зависимость между температурой рѣки и температурой внѣшняго воздуха (см. отд. I).

Качества. Подъ вліяніемъ теплоты и свѣта въ рѣкахъ развивается флора и фауна; первая развивается главнымъ образомъ въ рѣкахъ съ весьма незначительнымъ паденіемъ, а послѣдняя развивается безъ исключенія во всѣхъ тѣхъ рѣкахъ, которыя не обратились въ грязные стоки отъ фабричныхъ отбросовъ и т. под. Обѣ онѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ даютъ намъ понятіе о качествѣ воды; мы знаемъ, напр., что форель и водяной кроссъ водятся только въ хорошей водѣ; карпы, водоросли и проч. встрѣчаются также и въ дурной водѣ. Постоянныя измѣненія органическихъ веществъ, а главнымъ образомъ микробы, безпрерывно измѣняютъ качества воды. При тѣхъ обстоятельствахъ, когда рѣки въ извѣстной степени представляютъ собой естественные сборные каналы для получающихся въ городахъ и деревняхъ грязныхъ водъ, для опредѣленія качествъ воды въ высшей степени важно знать, имѣется ли и сколько именно имѣется такихъ источниковъ загрязненія, и на какомъ разстояніи они расположены по теченію рѣки. Свойственное водѣ самоочищеніе въ рѣдкихъ случаяхъ бываетъ достаточно для совершеннаго или почти совершеннаго уничтоженія вреда отъ подобныхъ загрязненій; обыкновенно на извѣстныхъ протяженіяхъ рѣки вода остается постоянно грязной вслѣдствіе постояннаго загрязненія русла рѣки.

Относительно самоочищенія рѣкъ профессоръ Фрэнкландъ на гигіеническомъ конгрессѣ въ Лондонѣ въ 1891 году замѣтилъ слѣдующее: „тщательное изученіе выдающихся изслѣдованій неизбѣжно приводитъ насъ къ тому заключенію, что главная причина самоочищенія рѣчной воды состоитъ только въ осажденіи; быстрое окисленіе растворенной органической матеріи постоянно мало замѣтно. Удаленіе микробовъ путемъ осажденія въ текучей водѣ несомнѣнно имѣетъ весьма важное гигіеническое

значеніе, гораздо болѣе важное, нежели признанное окисленіе растворенной органической матеріи, сама по себѣ не обладающей свойствомъ образовать заразныя болѣзни. Но съ другой стороны осажденіе или седиментація не представляетъ собой такого процесса, который давалъ бы намъ несомнѣнную гарантію въ томъ, что осѣдающія въ какомъ-либо мѣстѣ рѣки патогенныя бактеріи не существуютъ въ ниже лежащемъ мѣстѣ рѣки. Многочисленные опыты, произведенные надъ живучестью или жизнеспособностью патогенныхъ микробовъ въ водѣ, несомнѣнно показали, что осѣвшіе на дно микробы еще долгое время остаются живыми и могутъ опять цѣликомъ появляться при ближайшемъ усиленномъ теченіи воды. Дѣйствительно, новѣйшія изслѣдованія Лорте *) показали, что образующіеся въ настоящее время въ озерахъ осадки ила нерѣдко содержатъ въ себѣ патогенные микробы въ живомъ видѣ. Поэтому мы не должны допускать, что такъ называемое самоочищеніе рѣкъ, т. е. опусканіе микробовъ на дно, можетъ смягчать ту строгость, которую необходимо соблюдать относительно предупрежденія загрязненія рѣкъ; наоборотъ, на основаніи бактеріологическихъ изслѣдованій доказаны съ одной стороны весьма важное значеніе основательной очистки всѣхъ сточныхъ водъ— преимущественно грязныхъ городскихъ стоковъ—до спусканія ихъ въ рѣку, а съ другой стороны необходимость подвергать получаемую для водоснабженія изъ рѣкъ воду тщательной очисткѣ и фильтрованію черезъ песокъ".

Различныя нечистоты, преимущественно органическаго происхожденія, въ нѣкоторыхъ случаяхъ придаютъ рѣкѣ своеобразный запахъ, дѣлающій воду отвратительной для употребленія, даже послѣ хорошей подготовки.

Осѣдающія вещества. Въ зависимости отъ большей или меньшей скорости теченія воды рѣки механически смываютъ свои русла. Онѣ постоянно увлекаютъ происходящія отъ этого механическаго размыванія примѣси, которыя частью уносятся въ море, а частью отлагаются на дно въ тѣхъ участкахъ рѣки, гдѣ скорость воды бываетъ меньше. Подобныя отложенія состоятъ изъ гальки, песку и ила; первая отлагается въ верхнихъ частяхъ или верховьяхъ рѣчныхъ руслъ большими массами большей частью вмѣстѣ съ крупнымъ пескомъ. Отложеніе мелкаго песку и илу больше происходитъ въ низовьяхъ рѣкъ.

Поэтому ясно, что наиболѣе опасныя отложенія встрѣчаются въ низовьяхъ рѣкъ; во время половодья отложившіяся въ верхнихъ частяхъ рѣкъ массы ила цѣликомъ или частью размываются и уносятся къ низовьямъ, такъ что тамъ должны скопляться наиболѣе вредные для здоровья осадки. Такимъ образомъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ верховья рѣки представляютъ собой наиболѣе благопріятное мѣсто полученія воды.

Химическія свойства. Вода рѣки, подобно грунтовой водѣ (отд. I, гл. 9), оказываетъ извѣстное химическое дѣйствіе на различныя проходимыя ею породы. Рѣчная вода изъ кристаллическихъ породъ обыкновенно содержитъ въ себѣ незначительныя количества хлористыхъ и сѣрнистыхъ соединеній. Въ осадочныхъ, преимущественно известковыхъ, породахъ вода растворяетъ въ себѣ известь и магнезію, которыя частью отлагаются въ другихъ соединеніяхъ. Подмывы лѣсовъ, луговъ, виноградниковъ, пахатныхъ полей и проч. доставляютъ рѣкамъ амміакъ, калійныя соли, фосфорную кислоту и проч. Отсюда происходятъ различныя свойства отдѣльныхъ рѣкъ: вода одной рѣки бываетъ жестка, синяго или зеленаго цвѣта, а въ другой она мягка, но желтоватаго цвѣта и т. д. Эти свойства остаются постоянными въ теченіе извѣстнаго кругооборота: они въ различныя времена года, въ зависимости отъ высоты стоянія воды, бываютъ различны, но въ общемъ они въ одинаковое время года остаются почти одинаковыми какъ для одного, такъ и другого года.

*) Lortet. Pathogene Bakterien im Schlamme des Genfer Sees. Zentralbl. für Bakteriologie. 1891 г. т. 9, стр. 709.

Таяніе снѣговъ и половодье. Рѣки, вытекающія изъ среднихъ возвышенностей, обыкновенно весной во время таянія снѣговъ имѣютъ высокій уровень воды, а лѣтомъ, осенью и зимой средній или низкій уровень. Въ рѣкахъ же, частью питающихся глетчерами, наивысшій уровень воды бываетъ лѣтомъ. Нѣкоторыя отдѣльныя рѣки, какъ, напр., Рейнъ, имѣютъ высокіе уровни воды правильно 2 раза въ году: весной при таяніи снѣговъ на среднихъ возвышенностяхъ и лѣтомъ при таяніи глетчеровъ въ Швейцаріи. Наинизшій уровень воды большей частью бываетъ лѣтомъ (въ рѣкахъ безъ притоковъ изъ глетчеровъ) и зимой (въ рѣкахъ съ притоками изъ глетчеровъ).

При половодьѣ рѣки обыкновенно бываютъ очень мутны и загрязнены; при среднемъ уровнѣ вода въ нихъ бываетъ только просвѣчивающей, а при низкомъ уровнѣ она, наоборотъ, бываетъ совершенно прозрачна. Въ рѣкахъ, вытекающихъ изъ большихъ сборныхъ бассейновъ (какъ, напр., въ Рейнѣ, Ронѣ и т. под.), вода въ мѣстѣ истока бываетъ постоянно прозрачна.

Основныя положенія при полученіи воды. Такъ какъ отъ употребляемой для питья воды во всякое время требуется безусловная прозрачность, то рѣчная вода непримѣнима для водоснабженія безъ предварительной ея подготовки *). Процессы, которымъ она должна подвергаться, въ зависимости отъ ея качествъ, будутъ нами разсмотрѣны ниже (см. гл. 5). Приведемъ сначала тѣ мѣры, къ которымъ необходимо прибѣгать при устройствѣ водосборныхъ сооруженій для обезпеченія источника сбора воды.

Здѣсь слѣдуетъ различать два случая: проводъ воды къ снабжаемой мѣстности подъ естественнымъ напоромъ и добываніе рѣчной воды путемъ искусственнаго ея поднятія.

Въ первомъ случаѣ полученіе или проводъ воды производится открытымъ каналомъ, акведукомъ или трубопроводомъ. Иногда въ ложѣ рѣки устраивается запруда, поверхъ которой начинается отводный каналъ. При примѣненіи этого способа необходимо принять въ соображеніе, что устройствомъ запруды скорость воды значительно уменьшается, вслѣдствіе чего необходимо образуются отложенія ила, а вмѣстѣ съ ними и опасность для чистоты воды. Если по необходимости долженъ быть примѣненъ подобный способъ провода воды, то дно отводнаго канала должно быть расположено по возможности выше надъ дномъ рѣки передъ плотиной, причемъ нужно принять мѣры, чтобы илъ передъ запрудой могъ бы быть совершенно и легко удаленъ черезъ шлюзовыя отверстія въ тѣлѣ запруды. Но лучше въ этомъ случаѣ параллельно рѣкѣ провести каменный каналъ, снабженный однимъ или нѣсколькими впускными проводами (напр., штольнями или трубами) со стороны рѣки, и направляющійся затѣмъ къ снабжаемой мѣстности въ качествѣ акведука (открытой канавы и проч.). При сравнительно небольшомъ расходѣ начало провода можетъ быть образовано водяной камерой съ однимъ впускомъ. Весьма раціонально, преимущественно при проводѣ воды по акведуку или трубопроводу, искусственно очищать ее непосредственно послѣ отвода, такъ какъ нечистыя текущія воды механически

*) Основанное на нефильтрованной водѣ прежнее водоснабженіе Гамбурга представляло собой примѣръ, не заслуживающій подражанія. Въ настоящее время вода въ Гамбургѣ фильтруется. То же самое можно сказать и о водопроводѣ С.-Петербурга въ его состояніи до устройства фильтровъ.

разрушаютъ стѣнки проводовъ, и вмѣстѣ съ ней въ проводъ поступаетъ грязь и разныя примѣси, которыя дѣлаютъ его проводникомъ инфекціонныхъ матерій и которыя тѣмъ не менѣе впослѣдствіи должны быть удалены изъ него.

Во всякомъ случаѣ слѣдуетъ всегда, и по возможности не взирая на стоимость, между всѣми мѣстами рѣки, годными для полученія воды, выбирать наилучшее. Для этой цѣли необходимо изучить характеръ рѣки (см. отд. I, гл. 4 и 5). Слѣдуетъ избѣгать мелкихъ и глинистыхъ мѣстъ рѣки, а также безусловно необходимо держаться берега съ наиболѣе быстрымъ теченіемъ. Если замѣчаютъ, что по боковымъ притокамъ рѣки въ нее притекаютъ илистыя или окрашенныя воды, которыя простираются на значительномъ протяженіи вдоль берега и двигаются отдѣльно отъ главнаго теченія, то пріемъ воды не долженъ быть произведенъ у самаго берега, а его слѣдуетъ подвинуть ближе къ главному потоку. Если для этой цѣли отъ берега рѣки построенъ боковой каналъ (или пріемная труба) къ соотвѣтствующему мѣсту потока, то его ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ обращать въ предварительный фильтръ, напр., наполняя его камнями и т. под. матеріалами, такъ какъ въ подобныхъ сооруженіяхъ всякія нечистоты, преимущественно микробы, осѣдаютъ весьма сильно и представляютъ собой постоянную опасность для доброкачественности воды. На этомъ же основаніи не слѣдуетъ сооружать близъ рѣки значительнаго водоема, или примѣнять для отвода воды старое рѣчное русло или рукавъ, въ которомъ вода приходила бы въ состояніе покоя, содѣйствующаго образованію илистыхъ отложеній. За весьма малыми исключеніями, раціональнѣе всего будетъ, какъ упомянуто выше, добываніе воды изъ мѣста рѣки съ наиболѣе сильнымъ теченіемъ, такъ какъ въ подобныхъ мѣстахъ вода большей частью бываетъ наиболѣе чистой, кромѣ только половодій и пр. Само собой разумѣется, что первымъ дѣломъ слѣдуетъ избѣгать брать воду изъ рѣки ниже крупныхъ населенныхъ центровъ и проч.; пріемъ воды безусловно долженъ быть расположенъ выше подобныхъ мѣстъ, а при неизбѣжномъ заселеніи мѣсто пріема воды должно быть впослѣдствіи перенесено въ другой пунктъ.

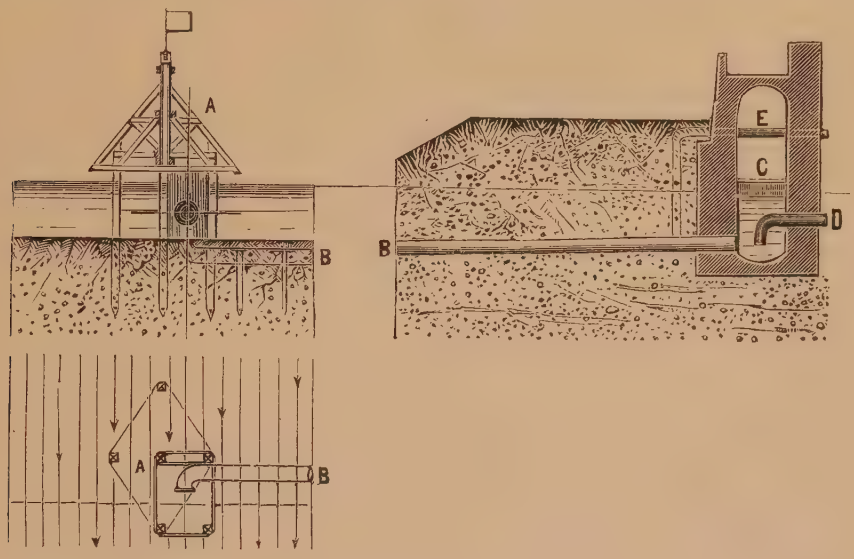
Соблюденіе приведенныхъ правилъ въ большинствѣ случаевъ несомнѣнно вызоветъ значительныя техническія затрудненія, преимущественно въ тѣхъ рѣкахъ, въ которыхъ высокія воды измѣняютъ русла, а вмѣстѣ съ ними и мѣста наиболѣе быстраго теченія. Въ этихъ случаяхъ оказывается неизбѣжнымъ особое регулированіе рѣчныхъ руслъ, даже если оно связано съ большими денежными затратами. Затѣмъ необходимо принять мѣры для воспрепятствованія проникаію въ сборныя сооруженія различныхъ плавающихъ въ водѣ тѣлъ; для этой цѣли могутъ служить постоянныя или подвижныя рѣшетки съ соотвѣтствующими промежутками или проволочныя ткани съ болѣе или менѣе мелкими клѣтками. При этомъ здѣсь нельзя привести точныя указанія, должны ли эти рѣшетки быть устроены въ самомъ руслѣ рѣки или въ соотвѣтствующемъ мѣстѣ сборнаго канала, который въ этомъ случаѣ подвергается заносу песками выше рѣшетки, хотя при всѣхъ одинаковыхъ условіяхъ удобнѣе и лучше будетъ располагать рѣшетки въ самомъ рѣчномъ руслѣ.

Могущія произойти засоренія впуска каналовъ доннымъ льдомъ могутъ быть предупреждены тѣмъ, что вода предъ входомъ на короткое время приводится въ состояніе покоя, причемъ льдины всплываютъ вверхъ.

Если полученіе воды производится искусственнымъ ея подыманіемъ помощью всасывающихъ трубопроводовъ, то концы вса-

сывающихъ трубъ должны быть расположены такъ, чтобы они по возможности были выше дна рѣки *), и чтобы всасываемая вода при поступленіи въ трубопроводъ имѣла бы направленіе, противоположное теченію рѣки. Если по рѣкѣ сплавляются плоты или существуетъ судоходство, то необходимо должны быть приняты мѣры для предупрежденія поврежденія пріемныхъ мѣстъ плавающими бревнами или судами.

Для полученія болѣе яснаго понятія о подобныхъ сооруженіяхъ приводимъ здѣсь вкратцѣ описаніе изображеннаго на фиг. 79 пріема рѣчной воды для г. Парижа при Иври. Мѣсто пріема воды находится при A на быстротокѣ рѣки Сены; B изображаетъ пріемный трубопроводъ, оканчивающійся въ сборномъ колодцѣ C, изъ котораго вода выкачивается насосами помощью всасывающихъ трубъ D; E представляетъ собой соединенную съ напорными



Фиг. 79. Пріемъ воды изъ р. Сены при Иври для водоснабженія Парижа.

трубами водопровода трубу, служащую для промывки пріемной трубы B. Функціи отдѣльныхъ частей этого сооруженія вполнѣ ясны и не требуютъ объясненія. Входной конецъ пріемной трубы со всѣхъ 4 хъ сторонъ огражденъ рѣшетками для предупрежденія попаданія въ нее различныхъ плавающихъ предметовъ. Построенное на сваяхъ въ этомъ мѣстѣ рѣки ограждение которое по ночамъ освѣщается, обращаетъ вниманіе проходящихъ по рѣкѣ плотовъ и судовъ, на это мѣсто рѣки **).

Примѣненный здѣсь способъ промывки пріемной трубы отъ неизбѣжнаго ея заплыванія иломъ помощью напорной трубы водопроводной сѣти представляетъ собой наилучшій способъ быстрой и надежной прочистки трубы, и поэтому находитъ себѣ повсемѣстное примѣненіе. Отъ времени до времени слѣдуетъ также прочищать рѣшетки и образуемую ими камеру для забирнаго конца трубы; эта работа производится водолазами.

Затруднительная большей частью укладка пріемной трубы въ рѣчное русло препятствуетъ достиженію совершенной плотности стыковъ и соединеній всего трубопровода. Поэтому совѣтуется впустить эту трубу во всасывающую шахту или каналъ; такъ какъ она въ этомъ случаѣ подвержена весьма небольшому только внѣшнему давленію, то она долго сохраняетъ свое исправное состояніе,

*) Предѣлы здѣсь обусловливаются меженнымъ уровнемъ воды въ рѣкѣ.

**) Краткія замѣтки о нѣкоторыхъ русскихъ водопроводахъ съ рѣчной водой приведены ниже.

причемъ легче можетъ быть предупреждено попаданіе въ нее нежелательныхъ постороннихъ веществъ.

Заключеніе о рѣкахъ, какъ объ источникахъ добыванія воды. Рѣки, въ которыхъ температура воды мало измѣняется, и воды которыхъ большей частью доставляются грунтовыми потоками и ключами, представляютъ собой весьма удовлетворительные источники обильнаго водоснабженія, преимущественно если область осадковъ до мѣста пріема воды мало заселена и почти вся покрыта лѣсами или лугами. Качества воды изъ подобныхъ рѣкъ, послѣ надлежащей ея очистки, одинаковы съ качествами хорошей ключевой воды. Надежность воды въ качественномъ отношеніи значительно понижается по мѣрѣ того, какъ замѣчается параллельное измѣненіе температуры воды и температуры окружающаго воздуха, т. е. чѣмъ болѣе главный притокъ къ рѣкѣ образуется омывающими поверхность земли дождями. Тѣмъ не менѣе, если вода мало загрязнена или совершенно не засорена животными изверженіями, и въ особенности городскими или фабричными грязными стоками, то изъ воды подобныхъ рѣкъ можетъ быть получена питьевая вода, удовлетворяющая современнымъ гигіеническимъ требованіямъ. Нѣсколько высшая температура воды лѣтомъ и соотвѣтственно болѣе низкая ея температура зимой въ сравненіи съ температурой грунтовыхъ или ключевыхъ водъ весьма мало чувствуется потребителями, такъ какъ вслѣдствіе обыкновенно длинныхъ подземныхъ трубопроводовъ эта разница въ мѣстахъ пользованія водой бываетъ только весьма мала. Наоборотъ, въ низовьяхъ тѣхъ рѣкъ, которыя при своемъ теченіи проходятъ черезъ крупные города и фабричныя области, въ настоящее время, т. е. при современномъ состояніи методовъ очистки получаемой воды и современныхъ санитарныхъ требованіяхъ относительно отвода грязныхъ водъ въ рѣки, полученіе воды не всегда безопасно. Опасность относительно меньше при рѣкахъ съ сравнительно значительными количествами воды и большими скоростями теченія и возростаетъ въ обратномъ отношеніи къ этимъ условіямъ. Такимъ образомъ на полученіе воды въ подобныхъ мѣстахъ можно рѣшиться лишь тогда, когда нѣтъ другого исхода и когда, какъ это часто бываетъ въ крупныхъ городахъ, недостатокъ лучшей воды влечетъ за собой худшія санитарныя послѣдствія, нежели обильное снабженіе водой хотя бы даже и низшаго достоинства. Дальнѣйшія подробности о добываніи рѣчной воды будутъ приведены ниже.

2. Полученіе озерной воды.

Озера въ природѣ играютъ роль большихъ сборныхъ бассейновъ; выше мы указали на свойства этихъ водохранилищъ относительно улучшенія и очищенія попадающихъ въ нихъ притоковъ. Содержаніе воды въ естественныхъ озерахъ увеличивается и уменьшается по мѣрѣ измѣненія мощности притоковъ, а также и величины истоковъ; поэтому уровень воды въ озерахъ подверженъ правильно повторяющимся ежегодно болѣе или менѣе значительнымъ колебаніямъ

Въ сущности необходимо различать озера, которыя могутъ быть разсматриваемы какъ необыкновенно сильныя уширенія рѣчныхъ руслъ, какъ, напр., Баденское озеро для Рейна, Женевское озеро для Роны, Цюрихское озеро для Линта, Фирвальдштедтское озеро для Рейсса, верхне-итальянскія озера для притоковъ По и т. д., и озера, которыя не имѣютъ видимаго истока, какъ, напр., Циркницкое озеро въ Крайнѣ, Альбанское озеро въ Италіи, Павенское озеро во Фран-

ціи, Копайское озеро въ Греціи и т. д. Въ озерахъ перваго разряда происходитъ весьма замѣтное очищеніе воды отъ содержащихся въ притокахъ солей, а также и отъ различныхъ примѣсей и органическихъ веществъ; такимъ образомъ вытекающая изъ такихъ озеръ вода, большей частью, свѣтла и прѣсна, такъ что съ успѣхомъ можетъ быть примѣнена для водоснабженія. Озера же безъ видимыхъ истоковъ, наоборотъ, очень часто содержатъ въ себѣ столько солей, что вода изъ нихъ не можетъ годиться для питья.

Большинство озеръ континентальныхъ странъ имѣютъ видимые истоки или, какъ напр., Циркницкое озеро, истоки черезъ подземные дренажи, и поэтому они доставляютъ прѣсную воду. Къ соленымъ озерамъ въ Германіи принадлежитъ единственное Мансфельдское озеро (къ западу отъ Галле), вода котораго, впрочемъ, подвергается вещелачиванію; много соленыхъ озеръ встрѣчается въ Семиградіи. Въ Венгріи, какъ и въ Египтѣ, имѣются щелочныя озера.

Качества. Колебанія уровня воды въ естественныхъ озерахъ, независимо отъ вызываемаго ими измѣненія расхода, имѣютъ еще своимъ послѣдствіемъ измѣненія качествъ воды и цвѣта ея, такъ какъ они вызываются дождями, таяніемъ снѣговъ, засухами и проч.

Относительно измѣненій качествъ воды необходимо здѣсь замѣтить, что подъ вліяніемъ перемѣннаго притока они не только бываютъ различны въ различныхъ мѣстахъ озера, но въ одномъ и томъ же мѣстѣ озера они мѣняются со дня на день или даже нѣсколько разъ въ теченіе дня. Вообще опытъ показываетъ, что въ каждомъ большомъ озерѣ и при всякомъ уровнѣ воды эти измѣненія достигаютъ своего минимума въ такъ называемой морской области озера, т. е. въ центральной его части, и затѣмъ измѣняются въ весьма широкихъ предѣлахъ по направленію къ берегамъ. Затѣмъ можно принять за достовѣрное, что въ морской области озера вода бываетъ чище, нежели у береговъ, хотя пыль и т. под. могутъ загрязнять поверхность воды и въ этой области. Поэтому при полученіи озерной воды необходимо по возможности удаляться отъ береговъ и выбирать мѣста для пріема воды не слишкомъ близко отъ ея поверхности.

Затѣмъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ озерахъ, также какъ и въ рѣкахъ, самоочищеніе происходитъ главнымъ образомъ путемъ осажденія. Послѣднее, какъ было упомянуто выше, содѣйствуетъ опусканію бактерій на дно, гдѣ онѣ въ илѣ остаются еще долгое время живыми. Поэтому мѣсто пріема воды не должно быть слишкомъ близко отъ дна озера.

О вліяніи такъ называемыхъ органическихъ веществъ на озерную воду въ настоящее время трудно сказать что-либо опредѣленное: повидимому, они не всегда представляютъ опасность для здоровья. Во всякомъ случаѣ температура и высота стоянія воды въ озерѣ имѣютъ весьма существенное вліяніе на свойства органическихъ веществъ. Зимой, когда вслѣдствіе холода органическое разложеніе происходитъ весьма медленно, вода съ содержаніемъ органическихъ веществъ, вѣроятно, наименѣе вредна для здоровья. При высокомъ уровнѣ воды инфекціонныя вещества оказываются настолько размельченными и растворенными, что уже вслѣдствіе одного этого они могутъ оказаться менѣе вредными. Наоборотъ, когда послѣ продолжительной засухи наступаетъ дождь, которымъ всѣ оставшіяся въ теченіе засухи въ окрестностяхъ озера нечистоты смываются въ озеро, затѣмъ, когда сильный вѣтеръ разсѣиваетъ осѣвшій на берегахъ илъ и смѣшиваетъ между собою органическія вещества, тогда при низкомъ уровнѣ воды и благопріятствуемомъ сильной жарой броженіи, повидимому, существуютъ всѣ условія, дѣлающія воду вредной для здоровья.

Во всякомъ случаѣ, можно съ достовѣрностью сказать, что на поверхности озера и на днѣ его находятся наименѣе чистые слои воды: на поверхности воды лежатъ нанесенныя вѣтромъ пыль и грязь, а также и разныя плавающія вещества, между тѣмъ какъ на днѣ озера скопляются всѣ живыя и мертвыя осажденія изъ воды. Между этими двумя предѣлами должно быть расположено то мѣсто, изъ котораго можно получать наиболѣе удовлетворительную воду для водоснабженія. Такъ какъ опасность отъ разложенія органическихъ веществъ возрастаетъ съ температурой, то лѣтомъ, когда температура воды въ озерѣ тѣмъ ниже, чѣмъ глубже она находится подъ поверхностью, наиболѣе благопріятное мѣсто для полученія воды будетъ на глубинѣ озера, на 3—4 метра выше дна*).

Вслѣдствіе осажденія бациллъ нужно во всякомъ случаѣ предполагать, что непосредственно подъ свободнымъ уровнемъ вода должна быть чище, нежели изъ болѣе глубокихъ слоевъ; въ общемъ это несомнѣнно подтверждается наблюденіями относительно содержанія бациллъ, но, съ другой стороны, вода изъ болѣе глубокихъ слоевъ всегда свѣтла и имѣетъ приблизительно одинаковую температуру, между тѣмъ какъ вода съ поверхности часто оказывается мутной и лѣтомъ бываетъ тепла, а зимой холодна; такимъ образомъ вода изъ глубокихъ слоевъ имѣетъ преимущества, которыя превышаютъ недостатокъ ея относительно большаго содержанія бациллъ, особенно въ томъ случаѣ, когда она подвергается искусственному фильтрованію.

Подтвержденіемъ справедливости приведенныхъ предположеній могутъ служить сооруженія въ Цюрихѣ. Бертшингеръ *) сообщаетъ, какъ результатъ многолѣтнихъ наблюденій, что въ пріемномъ мѣстѣ новаго Цюрихскаго водоснабженія, находящемся въ 310 метр. отъ лѣваго берега и 350 метр. отъ праваго берега озера (набережной), гдѣ озеро имѣетъ глубину 17 метр., встрѣчаются слѣдующія наибольшія и наименьшія количества примѣсей.

Глубина мѣста полученія воды подъ уровнемъ.	Органическихъ веществъ.	Амміака.	Альбуминн. амміака.	Число бактерій въ 1 куб. сант.
На глубинѣ 4 метр.				
Minimum	17,4	0,003	0,032	22
Maximum	35,1	0,006	0,082	622
На глубинѣ 12 метр.				
Minimum	15,0	0,003	0,036	39
Maximum	32,4	0,025	0,060	388
На глубинѣ 16 метр.				
Minimum	17,6	0,003	0,028	58
Maximum	29,4	0,040	0,080	634

*) Bertschinger. A. Untersuchungen über die Wirkung des Sandfilter des städtischen Wasserwerks in Zürich. 1889.

Изъ этихъ данныхъ видно, что на глубинѣ 16 метр. обнаруживается вліяніе близости дна озера. Въ настоящее время для полученія чистой и прохладной воды мѣсто полученія расположено на глубинѣ 14 метр., т. е. на 3 метра выше дна озера.

Впрочемъ, слѣдуетъ замѣтить, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ мѣсто полученія воды заранѣе опредѣляется нѣкоторыми условіями. Такъ, напр., если вблизи снабжаемой мѣстности берегъ озера мелокъ на значительномъ протяженіи вовнутрь, то безъ чрезмѣрныхъ расходовъ полученіе воды изъ глубокаго мѣста озера оказывается невозможнымъ. Въ этихъ случаяхъ мѣсто пріема воды стремятся расположить на теченіи, по которому вода притекаетъ къ этому мѣсту изъ морской области озера. Подобная вода большей частью имѣетъ не сильно мѣняющуюся температуру, бываетъ совершенно прозрачна и, взятая изъ глубины около 2 метр. подъ наинизшимъ уровнемъ, сравнительно мало загрязнена, т. е. содержитъ немного бактерій. Соотвѣтствующія мѣста для полученія воды постоянно находятся также вблизи озернаго истока; поэтому хорошая вода легче всего получается также у нижнихъ концевъ озера.

Цвѣтъ. Хорошо отстоявшаяся и чистая вода въ общемъ имѣетъ синій цвѣтъ. Чистота или прозрачность подобной воды настолько сильна, что, напр., въ озерѣ Веттеръ въ Швеціи легко узнать монету, лежащую на глубинѣ 35 метр. подъ уровнемъ воды въ озерѣ. Если вода содержитъ въ себѣ соли, то эта примѣсь вызываетъ нѣкоторое измѣненіе интенсивности синяго цвѣта, а вмѣстѣ съ тѣмъ и нѣкоторое измѣненіе прозрачности. При появленіи въ водѣ мути, комбинація окрашиванія воды отъ мути съ натуральнымъ синимъ цвѣтомъ вызываетъ нѣкоторое переходное или промежуточное окрашиваніе. Если въ смѣси преобладаетъ содержаніе чистой воды, то вода получаетъ синевато-зеленое окрашиваніе; чѣмъ въ меньшей степени существуетъ это преобладаніе чистой воды, тѣмъ ближе окрашиваніе воды подходитъ къ желтому тону, переходящему, наконецъ, въ грязновато-желтое окрашиваніе. Другіе цвѣта воды, вслѣдствіе недостаточно выясненныхъ въ настоящее время процессовъ, обусловливаются различными примѣшанными къ водѣ твердыми веществами.

Въ одномъ и томъ же озерномъ бассейнѣ цвѣтъ воды бываетъ различенъ въ различныхъ мѣстахъ; въ значительной степени это явленіе обнаруживается въ озерѣ Лаго-Маджіоре, сѣверная часть котораго (при впаденіи въ него Тессина) имѣетъ зеленый цвѣтъ, а южная часть имѣетъ темно-синій цвѣтъ. Въ большинствѣ озеръ можно различать разныхъ цвѣтовъ круговыя полосы, и почти всегда въ глубокихъ мѣстахъ цвѣтъ воды ближе подходитъ къ синему цвѣту, а въ менѣе глубокихъ мѣстахъ онъ бываетъ зеленоватый.

Въ зависимости отъ этого обстоятельства, согласно приведеннаго разъясненія, находятся также и качества воды, такъ какъ чѣмъ она прозрачнѣе, т. е. чѣмъ меньше цвѣтъ ея уклоняется отъ синяго, тѣмъ лучше бываютъ ея качества, и обратно. Такимъ образомъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ цвѣтъ воды можетъ служить указаніемъ для правильнаго выбора мѣста ея полученія для водоснабженія.

Температура. Что касается температуры озерной воды, то она находится въ зависимости отъ тѣхъ же внѣшнихъ условій, которыя были приведены нами выше для сборныхъ бассейновъ или прудовъ; различіе температуры отдѣльныхъ внутреннихъ массъ воды и внѣшняго воздуха вызываетъ постоянное движеніе частицъ воды. Не слѣдуетъ, однако, упускать изъ виду, что въ естественныхъ озерахъ подъ уровнемъ воды происходятъ еще нѣкоторыя другія

явленія, вліяющія на температуру воды, какъ, напр., химическіе процессы на днѣ озеръ, большіе ключи, и т. д.; такимъ образомъ въ этомъ отношеніи необходимо принять во вниманіе еще особыя обстоятельства, дающія совершенно иныя явленія, нежели въ прудахъ при одинаковыхъ внѣшнихъ условіяхъ. Во всякомъ случаѣ только этими явленіями можно себѣ объяснить фактъ существованія въ почти одинаковыхъ климатахъ холодныхъ и теплыхъ озеръ, какъ, напр., это замѣчается въ Альпійскихъ озерахъ, и тотъ фактъ, что одни озера зимой замерзаютъ, между тѣмъ какъ другія не замерзаютъ.

Большое число изслѣдованій надъ температурами озеръ, произведенныхъ различными наблюдателями, какъ, напр., Форелемъ въ Женевскомъ озерѣ, Буананомъ въ Шотландскихъ, Симони въ Верхне-Австрійскихъ, Ничольсомъ въ американскихъ озерахъ собрано въ замѣткахъ Цепритца *). Гейстбекъ произвелъ также рядъ подробныхъ изслѣдованій надъ температурой и условіями замерзанія Баварскихъ озеръ **). Богатый матеріалъ по этому предмету можно найти въ различныхъ учебникахъ и сочиненіяхъ по физической географіи. Во всякомъ случаѣ считаемъ нелишнимъ замѣтить, что лѣтомъ вообще температура понижается по мѣрѣ углубленія отъ уровня озера къ его дну (стремясь приблизиться къ 4°C), причемъ невозможно прослѣдить какую-нибудь правильность этого уменьшенія въ какомъ-либо опредѣленномъ мѣстѣ. Въ озерахъ съ незначительнымъ притокомъ и истокомъ уменьшеніе температуры съ глубиной происходитъ совершенно иначе, нежели въ озерахъ съ сильными теченіями.

Поэтому условія одного мѣста озера въ этомъ отношеніи не могутъ быть сравнены съ условіями въ какомъ-либо другомъ его мѣстѣ, а еще меньше условія одного озера могутъ быть примѣнены къ какому-нибудь другому.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены измѣненія температуры воды Цюрихскаго озера въ мѣстѣ пріема воды для вышеупомянутаго Цюрихскаго водопровода на различныхъ глубинахъ и въ различныя времена года.

Температуры озерной воды въ мѣстѣ ея полученія на глубинахъ 4, 12 и 16 метр.

Мѣсяцы.	Число наблюденій.				На глубинѣ 4 метр.				На глубинѣ 12 метр.				На глубинѣ 16 метр.			Средняя разность температуръ.		
	1885	1886	1887	1888	1885	1886	1887	1888	1885	1886	1887	1888	1886	1887	1888	4 и 12 метр.	12 и 16 метр.	4 и 16 метр.
Январь . .	—	23	25	25	—	4,4	4,0	3,1	—	4,4	4,2	3,4	—	4,2	3,5	+0,2	+0,1	+0,3
Февраль . .	—	16	24	25	—	3,5	3,1	2,6	—	3,7	3,4	2,9	—	3,5	3,0	+0,2	+0,1	+0,3
Мартъ. . .	—	26	25	27	—	4,0	3,8	3,4	—	4,0	3,9	3,4	—	3,9	3,4	+0,1	0	+0,1
Апрѣль . .	—	22	23	25	—	6,6	5,3	4,3	—	5,8	4,8	4,0	—	4,5	4,0	—0,5	—0,2	—0,7
Май. . . .	—	26	24	25	—	12,4	9,0	11,5	—	10,3	7,2	7,5	—	6,4	5,8	—2,7	—1,2	—3,9
Іюнь. . . .	17	23	26	26	17,5	17,4	15,4	17,3	10,8	14,2	10,9	10,1	8,0	8,5	6,7	—5,4	—4,0	—9,4
Іюль. . . .	28	18	26	25	20,5	19,1	21,0	16,9	12,6	12,4	10,8	12,0	11,1	8,1	8,0	—7,2	—3,0	—10,2
Августъ . .	23	24	25	26	20,9	19,8	20,6	17,1	12,0	13,7	12,1	13,8	10,3	7,9	9,3	—6,7	—4,0	—10,7
Сентябрь . .	15	25	25	25	17,1	20,3	18,1	16,5	12,5	14,1	13,7	13,4	9,5	9,2	9,4	—4,6	—4,9	—9,5
Октябрь . .	17	25	26	227	12,4	15,2	12,0	12,3	12,1	12,1	10,7	11,2	8,8	8,8	9,3	—1,5	—2,4	—3,9
Ноябрь. . .	25	26	26	6	8,6	10,3	7,7	7,9	8,6	9,9	7,6	7,6	8,5	7,5	7,1	—0,2	—0,3	—1,5
Декабрь. .	20	26	26	4	6,7	6,2	5,6	5,5	6,6	6,2	5,6	5,6	6,1	5,6	5,4	0	—0,1	—0,2
	145	280	301	306														

*) „Wagner's geograph. Jahrbuch"; т. 2, стр. 65 за 1881 г.; т. 9, стр. 33 за 1883 г.; т. 10, стр. 43 за 1885 г.

**) „Ausland". 1882 г. стр. 903, 1006 и д.

Въ Женевскомъ озерѣ, которое, подобно Цюрихскому, употребляется для водоснабженія г. Женевы, въ Октябрѣ мѣсяцѣ 1887 г. оказались слѣдующія температуры.

На глубинѣ отъ 1 до 5 метр. . . .	19°C	На глуб. отъ 40 до 50 метр.	8,3°C
„ „ „ 5 „ 10 „	18°C	„ „ „ 50 „ 60 „	7,8°C
„ „ „ 10 „ 20 „	17°C	„ „ „ 60 „ 75 „	7,1°C
„ „ „ 20 „ 30 „	14°C	„ „ „ 75 „ 130 „	6,6°C
„ „ „ 30 „ 40 „	12°C	„ „ „ 130 „ 300 „	6,4°C

Въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ необходимо производить спеціальныя наблюденія.

Вода, имѣющая лѣтомъ въ нашемъ среднемъ климатѣ температуру выше 15° С., не имѣетъ уже освѣжающаго вкуса; вода же съ температурой отъ 12 до 14° С. считается еще освѣжающей. Поэтому слѣдуетъ стремиться къ достиженію послѣднихъ температуръ, и при выборѣ мѣста полученія озерной воды на это обстоятельство должно быть обращено вниманіе. Тѣмъ не менѣе считаемъ нужнымъ замѣтить, что при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ, преимущественно если существующія въ озерѣ теченія доставляютъ воду изъ морской области, освѣжающую питьевую воду можно добыть на небольшой глубинѣ подъ ея уровнемъ въ озерѣ.

Въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ поэтому необходимы непосредственныя измѣренія температуръ. Затѣмъ весьма замѣтное вліяніе имѣетъ также и нагрѣваніе (положительное или отрицательное) воды въ проводахъ въ различныя времена года, на которое будетъ нами указано ниже (см. отд. III). Здѣсь считаемъ нелишнимъ привести результаты наблюденій, произведенныхъ въ Цюрихѣ.

Измѣреніе температуры питьевой воды Цюрихскаго водопровода въ лѣтніе и осенніе мѣсяцы.

Мѣсто пріема воды въ озерѣ.	Іюль.			Августъ.			Сентябрь.			Октябрь.		
	1886	1887	1888	1886	1887	1888	1886	1887	1888	1886	1887	1888
На глубинѣ метр. . .	4и12	12	14	12	12	14	12	12	14	12	12	14
Средняя температура .	13,4	10,8	9,8	13,7	12,1	11,4	14,1	13,7	11,7	12,2	10,7	10,3
Нагрѣваніе въ проводѣ отъ озера къ фильтрамъ.	1,4	2,5	1,3	0,7	2,5	2,6	0,6	0,8	0,3	0,9	—0,3	—0,3
Средняя температура въ пріемной шахтѣ фильтровъ	14,8	13,3	11,3	14,4	14,6	14,0	14,7	14,5	12,0	13,1	10,4	10,0
Нагрѣваніе при фильтрованіи.	0,1	0,7	0,1	—0,4	0,4	0,3	0,2	—0,6	1,0	—0,2	—0,1	0,3
Средняя температура въ резервуарѣ чистой воды послѣ фильтрованія.	14,9	14,0	11,4	14,0	15,0	14,3	14,9	13,9	13,0	12,9	10,3	10,3
Нагрѣваніе въ проводѣ воды отъ фильтровъ къ насосамъ	0,1	0,1	0	0	—0,1	0	0	0,2	0	0,2	0	0
Средняя температура у насосовъ во всасывающей шахтѣ . . .	15,0	14,1	11,4	14,0	14,9	14,3	14,9	14,1	13,0	13,1	10,3	10,3
Нагрѣваніе отъ качанія	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0	0,2	0,2	0,2	0,3
Средняя температура у насосовъ въ нагнетательномъ проводѣ.	15,2	14,4	11,8	14,4	15,1	14,6	15,2	14,1	13,2	13,3	10,5	10,6
Нагрѣваніе отъ насосовъ до резервуаровъ.	0	0,2	0,1	0,6	0,1	0,5	0,7	1,2	0,2	0,4	1,3	0,4
Средняя температура въ резервуарахъ . .	15,2	14,6	11,9	15,0	15,2	15,1	15,9	15,3	13,4	13,7	11,8	11,0
Полное нагрѣваніе воды отъ озера до резервуаровъ.	1,8	3,8	1,9	1,3	3,1	3,7	1,8	1,6	1,7	1,5	1,1	0,7

Вліяніе водяныхъ растеній. Вообще озерные бассейны, начиная съ береговъ, имѣютъ откосы во внутрь, совершенно одинаковые съ откосами самихъ береговъ; если послѣдніе имѣютъ небольшіе уклоны, то въ мелкихъ мѣстахъ развивается растительность, преимущественно водоросли и діатомеи. Наблюденія надъ Женевскимъ озеромъ показали, что въ освѣщенномъ солнцемъ поясѣ растительность лѣтомъ прекращается только на глубинѣ 45 метр., а зимой на 100 метр. Пока эти растенія живутъ, они не оказываютъ никакого вреднаго вліянія на качества воды: хлорофилъ, какъ извѣстно, имѣетъ свойство въ присутствіи свѣта развивать кислородъ, который смѣшивается съ водой, поглощая при этомъ вредные для здоровья углеродистые газы. При засохшемъ состояніи растеній происходитъ обратное явленіе. Это засыханіе растеній происходитъ весьма часто при мелкой водѣ, преимущественно тамъ, гдѣ вслѣдствіе значительныхъ колебаній уровня воды нѣкоторыя пространства поперемѣнно то обнажаются, то опять покрываются водой. Отъ подобныхъ мѣстъ на довольно значительномъ протяженіи водѣ сообщается рыбный или болотный вкусъ, дѣлающій ее отвратительной для питья; для устраненія этого неудобства можно отдѣлить глубокія мѣста озера отъ мелкихъ мѣстъ помощью стѣнъ, или же углубить мелкія мѣста устройствомъ запрудъ. Но оба эти средства вслѣдствіе высокой ихъ стоимости примѣняются весьма рѣдко.

Основныя положенія при полученіи воды. При полученіи озерной воды мѣсто пріема воды во всякомъ случаѣ должно быть расположено глубже наиболѣе низкаго когда-либо наблюдавшагося уровня воды въ озерѣ и, по меньшей мѣрѣ, на такой глубинѣ, гдѣ оно совершенно обезпечено отъ попаданія плавающихъ тѣлъ, а также отъ замерзанія. Въ отношеніи послѣдняго необходимо замѣтить, что толщина береговаго льду во многихъ случаяхъ достигаетъ 0,7—1,0 метр. Если вода берется изъ озеръ, принимающихъ въ себя грязные стоки съ окружающихъ мѣстностей, то слѣдуетъ отыскать такія мѣста, въ которыхъ эти нечистоты не имѣютъ вліянія на качества воды. Путемъ наблюденій нетрудно опредѣлить направленіе, по которому движутся эти грязныя воды; большей частью онѣ тянутся вдоль берега въ видѣ полосъ съ особой окраской или же опускаются ниже уровня воды и, слѣдуя по откосамъ, поступаютъ въ озеро.

Пріемная труба при всѣхъ обстоятельствахъ должна быть снабжена предохранительной сѣткой для предупрежденія попаданія въ нее рыбъ и т. под. предметовъ; кромѣ того мѣсто пріема или всасыванія должно быть защищено отъ дѣйствія волнъ. Укладка пріемной трубы большей частью бываетъ весьма трудная. Такъ какъ мѣсто пріема должно быть расположено на нѣсколько метровъ выше дна озера, то всасывающій трубопроводъ на значительныхъ протяженіяхъ долженъ быть расположенъ на соотвѣтствующихъ поддержкахъ или подставкахъ. Обыкновенно въ дно озера забиваются сваи, связываемыя сверху насадками, на которыхъ располагается трубопроводъ, укладываемый съ неподвижными или же шарнирными соединеніями въ плавучемъ положеніи, а затѣмъ опускаемый водяной нагрузкой и прикрѣпляемый къ насадкамъ водолазами.

Для водоснабженія города Женевы вода раньше бралась изъ Роны; но втеченіи послѣднихъ десяти лѣтъ мѣсто пріема воды перенесено на 400 метр. выше Женевской гавани въ открытое озеро. Верхній край сѣтки на концѣ всасывающей трубы расположенъ въ среднемъ на глубинѣ только 1,5 метр. подъ уровнемъ воды. Всасывающая сѣтка (брызгало) предохранена отъ удара волнъ двумя шпунтовыми стѣнками, образующими букву V, и обложен-

ными снаружи каменною отсыпью. Всасывающій трубопроводъ до насоснаго помѣщенія имѣетъ длину 2100 метр.; онъ расположенъ въ Ронѣ и вслѣдствіе постепеннаго его сооруженія въ разное время онъ состоитъ частью изъ дерева и частью изъ чугуна и желѣза. Деревяная часть имѣетъ квадратное сѣченіе съ длиной стороны въ свѣту 0,85 метр.; отдѣльныя звенья этой части трубы имѣютъ строительную длину 4 метр. и соединены между собой на сушѣ такимъ образомъ, что подъ водой оставалось только связать нѣсколько стыковъ помощью поперечныхъ обвязокъ. Для облегченія укладки этого провода съ обѣихъ его сторонъ на извѣстныхъ разстояніяхъ были забиты направляющія сваи, которыя послѣ укладки провода срѣзывались и связывались вверху схватками, удерживающими такимъ образомъ весь проводъ. Часть провода состоитъ изъ отдѣльныхъ желѣзныхъ трубъ строительной длиной по 10 метр. и внутр. діам. 650 миллим., соединенныхъ между собой шаровыми шарнирами; онѣ въ плавучемъ состояніи доставлялись къ мѣсту работъ, гдѣ онѣ опускались внизъ помощью ворота и послѣ вывѣрки свинчивались при содѣйствіи водолаза. Чугунная вѣтвь трубъ была устроена, когда русло Роны между мостомъ „Pont de la Coulouvrénière“ и новымъ турбиннымъ помѣщеніемъ высохла. Она состоитъ изъ чугунныхъ муфтовыхъ трубъ внутр. діам. 900 милим. и строительной длиной по 4 метр., соединенныхъ между собой обыкновеннымъ способомъ помощью свинца и пеньки.

Новое, начатое въ 1885 г., полученіе озерной воды для водоснабженія Цюриха производится желѣзными трубами общей длиной 326 метр.; трубы имѣютъ внутренній діаметръ 875 милиметр. и толщину стѣнокъ 6,5 милим. и взяты изъ трубопровода отъ компрессоровъ въ Гешененѣ (употреблявшагося для постройки С. Готтардскаго туннеля). Онѣ уложены на 22 прочныхъ свайныхъ бычкахъ и на 7 устроенныхъ на сваяхъ подмостяхъ, для устройства которыхъ потребовалось 83 сваи длиной каждая отъ 16 до 24 метр. Мѣсто пріема воды первоначально было расположено на $5^1/_2$ метровъ ниже средняго уровня воды въ озерѣ; сѣтчатая коробка поверхностью 31,5 квадр. метр. служила для предупрежденія попаданія въ трубу различныхъ плавающихъ предметовъ. Въ 1886 г. эта коробка была удалена, и вмѣсто нея была опущена подобная же коробка на глубину 12 метр. съ цѣлью полученія воды болѣе равномѣрной температуры. Въ 1888 г. всасывающая труба была нарощена добавочнымъ звеномъ съ уширеніемъ въ концѣ, такъ что въ настоящее время вода можетъ браться изъ глубины 14 метр., т. е. на 3 метр. выше дна озера. Здѣсь лѣтомъ вода бываетъ 2—5°C холоднѣе, нежели на глубинѣ 12 метр. Всѣ работы подъ водой произведены водолазами.

Одно изъ извѣстнѣйшихъ сооруженій для полученія озерной воды представляетъ собой водоснабженіе города Чикаго. Мѣсто полученія воды раньше было расположено на берегу озера Мичигана. Но загрязненіе воды въ озерѣ вызвало необходимость перенести это мѣсто пріема воды, что и было произведено въ 1864—67 годахъ.

Почва дна озера состоитъ изъ синей твердой глины; на глубинѣ 12 метр. подъ дномъ (т. е. на 23 метр. ниже уровня воды въ озерѣ) въ озерѣ былъ проведенъ туннель длиной около 3 километр. На берегу озера и въ концѣ туннеля были устроены шахты; береговая шахта была устроена каменная цилиндрической формы со внутр. діаметр. 2,4 метр. и толщ. стѣнъ въ 30 сантим. Шахта въ самомъ озерѣ была сдѣлана чугунная и тоже имѣла цилиндрическую форму со внутр. діаметр. 2,75 метр. Путемъ вычерпыванія земли землечерпательными машинами эта шахта была опущена въ перемычкѣ, выступая выше уровня воды въ озерѣ, гдѣ она снабжена маякомъ съ колоколомъ для подачи сигналовъ во время тумана Этой шахтой вода изъ озера проводилась въ туннель.

При указанномъ свойствѣ почвы туннель могъ быть устроенъ безъ замѣтнаго прониканія въ него воды. Онъ имѣетъ приблизительно круглое поперечное сѣченіе (выс. 1,6 метр. и шир. 1,52 метр.); одежда стѣнъ туннеля состоитъ изъ 2-хъ кирпичныхъ кольцевыхъ стѣнъ.

Этимъ сооруженіемъ можетъ быть получено ежедневно 189000 кубич. метр. воды.

Чаще всего озерная вода примѣняется для водоснабженія городовъ въ Англіи и Соединенныхъ Штатахъ С. Америки; впрочемъ, столица Германіи тожа снабжена водой изъ озера *).

---

*) Подробное описаніе водоснабженій озерной водой интересующіеся могутъ найти въ слѣдующихъ сочиненіяхъ и журнальныхъ замѣткахъ:

Anklamm, E. Die Berliner Wasserwerke am Tegeler See. Berlin. 1886.

Bateman. Description of waterwork of Glasgow. Civ. Engineering. 1859 г. стр. 369.

Das Loch-Katrine-Wasserwerk zur Versorgung v. Glasgow. Deutsche Bauzeitung. 1889 г. т. 23, стр. 434.

Озеро, какъ источникъ добыванія воды. Двухсотлѣтній опытъ г. Женевы, все время снабжаемой исключительно нефильтрированной озерной водой безъ какихъ-либо вредныхъ послѣдствій или неудобствъ (кромѣ развѣ тифозной эпидеміи 1881 г., легко объясняемой чисто мѣстными причинами), наглядно доказываетъ пригодность озерной воды для цѣлей водоснабженія. Такъ какъ во всѣхъ большихъ озерахъ изъ извѣстной глубины можетъ быть добыта совершенно прозрачная сравнительно весьма чистая вода почти постоянной температуры, то этотъ способъ водоснабженія можетъ быть рекомендованъ съ самой лучшей стороны, такъ какъ онъ при этомъ, почти безъ исключенія, обладаетъ еще тѣмъ преимуществомъ, что даетъ весьма обильное водоснабженіе. Точно также опытъ Цюриха, какъ увидимъ ниже, показалъ, что надлежащимъ фильтрованіемъ изъ воды могутъ быть удалены содержащіяся въ ней бактеріи, такъ что и въ этомъ отношеніи нѣтъ никакой опасности въ примѣненіи озерной воды для водоснабженія.

3. Обдѣлка ключей или сборъ ключевой воды (каптажъ).

Общій обзоръ. Достаточность ключа для удовлетворенія извѣстной потребности въ водѣ опредѣляется путемъ непосредственныхъ наблюденій. Выше (см. отд. I) мы указали, что въ этомъ отношеніи весьма важны не только наибольшіе и наименьшіе истоки изъ ключа, но также и производительность ключа въ періоды наибольшей потребности въ водѣ. Поэтому прежде всего слѣдуетъ сравнить наибольшую потребность снабжаемой мѣстности съ обиліемъ ключа въ теченіе сухого года. Нѣкоторые ключи, какъ, напр., въ Альпахъ, обнаруживаютъ извѣстное соотвѣтствіе между потребностью въ водѣ и своимъ обиліемъ, давая лѣтомъ больше воды, а зимой меньше. Въ среднихъ возвышенныхъ мѣстахъ и въ низинахъ въ нашемъ среднемъ климатѣ это соотношеніе бываетъ обратное: здѣсь наименьшіе истоки изъ ключей обыкновенно бываютъ въ періоды наибольшей потребности, при чемъ наибольшіе истоки не могутъ быть въ достаточной степени использованы. Искусственное регулированіе водяного хозяйства въ подобныхъ случаяхъ путемъ пользованія подпочвенными водохранилищами было разсмотрѣно нами выше (см. гл. 3).

При работѣ по сбору воды и обдѣлкѣ ключей встрѣчаются задачи двоякаго рода:

1. Наблюдаемыя количества даваемой ключемъ воды вполнѣ достаточны для удовлетворенія потребности во всякое время; въ этомъ случаѣ ограничиваются собственно только обдѣлкой ключа.

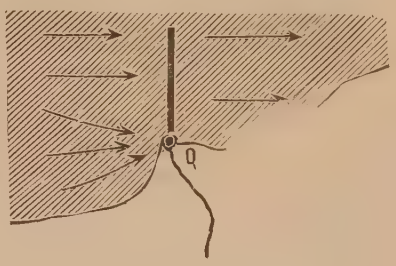
2. Обдѣлкой ключа имѣется въ виду одновременное же увеличеніе даваемаго имъ количества воды; въ этомъ случаѣ требуется существованіе подземнаго потока, направляющагося къ истоку ключа или соединяющагося съ ними. Тогда при обдѣлкѣ ключа необходимо имѣть въ виду и улавливаніе этого потока.

The tunnels and watersystem of Chicago. 1874 г.
The new Chicago Waterworks. Scientif. Americ. 1889 г. т. 61, стр. 367.
Vigreux, M. L. Projet d'alimentation d'eau de la ville de Lyon par le lac d'Annecy. Annecy. 1891 г.
Cleveland waterworks. Lake tunnel. The Journ. of Frankl, Inst. 1870 г. т. 56, стр. 313.
Zobel. Das Stuttgarter Wasserwerk. Zeitschr. d. Ver. deutsch Ing. 1884 г., т. 28. стр. 537.
Boston water supply. Sanit. Eng. 1889 г., т. 20, стр. 147.
Du villard. Mem. de la soc des ing. civ. 1890 г., т. 2, стр. 475 (о полученіи воды изъ Женевскаго озера для водоснабженія г. Парижа).

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ нетрудно распознавать подобный потокъ. Такъ, напр., если ключъ выходитъ изъ склона, образуемаго горнымъ мусоромъ или гравіемъ, но своимъ первоначальнымъ происхожденіемъ обязанъ выклинивающимся слоямъ породы, разсѣлинамъ въ породѣ и т. д., то часть выходящей изъ породы воды случайно можетъ просочиться въ подпочву склона, такъ какъ она туда легче можетъ двигаться, нежели къ ключевому истоку. Если дѣйствительно это имѣетъ мѣсто, то заложенный на нѣкоторомъ разстояніи отъ ключа шурфъ или скважина должна давать воду, уровень которой расположенъ ниже уровня ключа; при подобныхъ обстоятельствахъ увеличеніе производительности ключа весьма вѣроятно путемъ выведенія просочившейся внизъ воды на дневную поверхность.

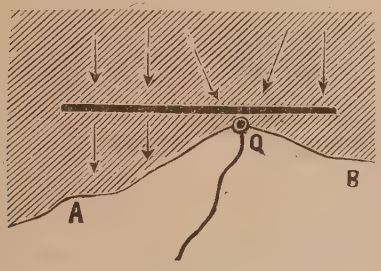
Если одинъ грунтовый потокъ питаетъ нѣсколько ключей, какъ это нерѣдко и бываетъ, то углубленіе одного изъ истоковъ и проведеніе какой-нибудь штольни или траншеи можетъ отвлечь воду отъ другихъ ключей, такъ что въ этомъ случаѣ истокъ одного ключа увеличивается на счетъ уменьшенія истока изъ другихъ ключей. Къ этому способу прибѣгаютъ весьма часто.

Если точно дознано, что ключъ Q (фиг. 80) происходитъ отъ разсѣлины, паденіе которой направлено по направленію стрѣлокъ на чертежѣ, то легко видѣть, что значительная часть грунтоваго потока проходитъ мимо ключа. Самый ключъ своимъ истокомъ обязанъ углубленію въ породѣ при Q. Если, исходя изъ Q, провести въ породу траншею или штольню, направленіе которой совпадаетъ съ направленіемъ непроницаемаго слоя, то количество воды можетъ быть болѣе или менѣе замѣтно увеличено, въ зависимости отъ области инфильтраціи для всего грунтоваго потока.



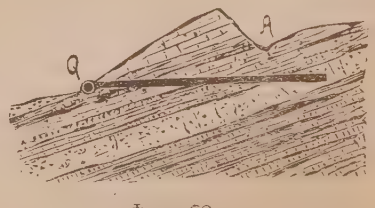
Фиг. 80.

Совершенно то же имѣетъ мѣсто въ довольно часто встрѣчающемся случаѣ, изображенномъ на фиг. 81. Если Q изображаетъ ключъ, AQB протяженіе разсѣлины въ породѣ, а стрѣлки обозначаютъ паденіе слоевъ, то обыкновенно на протяженіяхъ AQ и QB не обнаруживается никакихъ видимыхъ водяныхъ потоковъ. Въ этомъ случаѣ, наоборотъ, можно обнаружить или закрытіе разсѣлины валунами, въ которые просачивается вода, или же образованіе болота въ ближайшей мѣстности, вслѣдствіе выхода значительнаго числа водяныхъ струй или нитей. Эти водяныя струи могутъ быть пересѣчены идущей по направленію непроницаемыхъ слоевъ траншеей или штольней и служить для увеличенія истока ключа Q. Если такимъ путемъ уничтожено болото, то обдѣлкой добывается не болотная вода, а та грунтовая вода, которая раньше служила для образованія болота, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ инженеръ долженъ разъяснить неопытнымъ въ этомъ дѣлѣ лицамъ.



Фиг. 81.

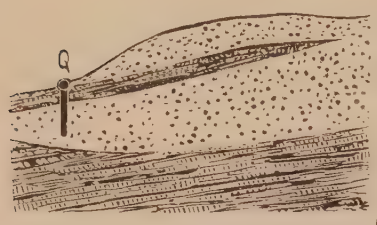
Затѣмъ увеличеніе даваемаго ключемъ количества воды всегда возможно въ тѣхъ случаяхъ, когда проницаемые и непроницаемые пласты налегаютъ послѣдовательно другъ надъ другомъ, какъ это изображено на фиг. 82. Въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ провести поперечную штольню, которою послѣ прохода непроницаемыхъ слоевъ достигаютъ водоносныхъ пластовъ. Преимущественно успѣшны бываютъ такія работы въ тѣхъ случаяхъ, когда въ A расположена довольно плоская долина съ значительными наносами, изъ которыхъ помощью штольни могутъ быть отведены значительныя количества воды. Само собой разумѣется, что въ тѣхъ случаяхъ, когда поперечная штольня не доставляетъ достаточнаго количества воды, слѣдуетъ заложить еще сборныя штольни по направленію непроницаемыхъ слоевъ.



Фиг. 82.

Въ наносныхъ, осадочныхъ и ледниковыхъ отложеніяхъ весьма часто встрѣчаются малопроницаемые прослойки глины и мергеля. Если на границѣ слоевъ въ подобныхъ случаяхъ выступаютъ небольшіе ключи, между тѣмъ какъ по инфильтраціонной области можно было бы

ожидать болѣе значительныхъ количествъ воды, то рекомендуется искать подымающуюся воду. На фиг. 83 изображено подобное залеганіе въ слояхъ обломочныхъ породъ или горнаго щебня. Нетрудно видѣть, что пробуренная при Q скважина дастъ воду на дневной поверхности, такъ какъ при существованіи въ Q ключа грунтовыя воды должны заполнять подпочвенный резервуаръ во всей области. Если послѣ оконченнаго буренія, а вмѣстѣ съ нимъ и полученія новаго истока, ключъ перестаетъ течь, то это служитъ яснымъ признакомъ прямой связи его съ водяными слоями подъ непроницаемымъ прослойкомъ.



Фиг. 83.

Въ упомянутыхъ формаціяхъ часто также выступаютъ ключи снизу вверхъ (бьющіе ключи), представляющіе собой въ нѣкоторыхъ случаяхъ стоки большаго грунтоваго потока, а иногда естественные истоки артезіанскихъ потоковъ. Въ подобныхъ случаяхъ углубленіемъ истока или пониженіемъ уровня воды почти безъ исключенія получаютъ значительныя количества воды. Подобныя же условія встрѣчаются также и въ другихъ горныхъ формаціяхъ при котлообразномъ залеганіи слоевъ породы.

При всѣхъ этихъ сооруженіяхъ постоянно сомнительнымъ остается для инженера то обстоятельство, что нѣтъ никакихъ способовъ точнаго или хотя бы приблизительнаго опредѣленія тѣхъ количествъ воды, которыя могутъ быть получены отъ даннаго сооруженія. Окончательный отвѣтъ на этотъ вопросъ можетъ только дать выполненіе сооруженія; такъ что достиженіе желаемаго результата съ большими или меньшими затратами составляетъ дѣло случая.

Во всякомъ случаѣ, какъ нами подробно изложено выше (см. отд. I), инфильтраціонныя области, отъ которыхъ ожидаются притоки, должны быть достаточно велики для покрытія желаемаго увеличенія расхода. Если это не имѣетъ мѣста, то по меньшей мѣрѣ вполнѣ вѣренъ отрицательный результатъ—невозможность достиженія въ данномъ случаѣ желаемаго увеличенія расхода.

При всякомъ сборѣ ключевой воды и обдѣлкѣ ключа прежде всего необходимо имѣть въ виду, что получаемая вода всегда должна оставаться чистой безъ мути; поэтому необходимо устроить водоемъ чистой воды и удерживать поверхностныя воды, т. е. тѣ инфильтраціи, которыя при своемъ протеканіи къ горизонту грунтовыхъ водъ, недостаточно освѣтляются. Затѣмъ ввиду той же цѣли ключъ послѣ произведенной обдѣлки долженъ быть предохраненъ отъ всякихъ наружныхъ загрязненій. Выходъ ключа долженъ быть легкодоступенъ во всякое время для возможности постояннаго поддерживанія истока въ исправномъ состояніи. Кромѣ того необходимо слѣдуетъ защищать воду отъ дѣйствія на нее мороза и жары, т. е. озаботиться о возможно равномѣрной температурѣ въ пространствѣ обдѣлки. Наконецъ, находящійся въ ключевомъ бассейнѣ воздухъ долженъ правильно возобновляться, т. е. сборное сооруженіе должно правильно вентилироваться; точно также оно должно допускать временами опоражниваніе для чистки.

Случайно, какъ напр. во время вѣтра, иногда при осмотрѣ черезъ двери, входныя (дозорныя) шахты и проч., въ ключевой бассейнъ могутъ попадать листья, щепки, пауки, лягушки и проч.; поэтому впереди пріемной трубы необходимо расположить сѣтку для удержанія всѣхъ этихъ постороннихъ тѣлъ. Пріемная труба должна соотвѣтствовать наибольшей потребности въ водѣ; обыкновенно она даже разсчитывается по наибольшей производительности ключа, ввиду возможности дальнѣйшаго возрастанія потребности съ теченіемъ времени. Пріемное или впускное отверстіе должно быть расположено на 0,5—1,0 метр. выше дна водоема для предупрежденія попаданія въ трубу ила и песку.

Кромѣ этихъ общихъ условій, необходимо должны быть еще приняты въ соображеніе частныя условія въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Очень часто весьма вредное вліяніе на ключъ имѣетъ подъемъ или подпоръ воды выше извѣстнаго уровня; поэтому въ подобныхъ случаяхъ необходимо устроить водосливное приспособленіе, автоматически препятствующее подобному подпору воды. Если притекающая вода временами несетъ съ собой песокъ или хрящъ, то необходимо устроить приспособленіе для улавливанія и задержанія этихъ взвѣшенныхъ примѣсей, которое должно быть достаточно велико, не требуя очистки раньше опредѣленнаго времени. Весьма цѣлесообразно при каждомъ ключѣ имѣть приспособленіе для измѣренія количества даваемой ключемъ воды.

Если приведенныя требованія могутъ быть выполнены безъ измѣненія мѣста истока ключа, то, въ случаѣ постояннаго соотвѣтствія между количествомъ даваемой ключемъ воды и потребностью въ ней, это представляетъ собой наилучшее рѣшеніе вопроса, такъ какъ оно есть единственное, при которомъ устранены всякія измѣненія количества воды, слѣд. и подземнаго водяного хозяйства. Въ этихъ случаяхъ вполнѣ возможно разсчитывать на сравнительно ничтожную измѣняемость качества воды.

Но это рѣшеніе вопроса оказывается возможнымъ только въ исключительныхъ случаяхъ, такъ какъ ключи весьма рѣдко выступаютъ въ совершенно замкнутомъ видѣ, а большей частью они выходятъ на болѣе или менѣе значительной поверхности въ видѣ системы отдѣльныхъ меньшихъ ключей, водяныхъ струекъ или нитей, родниковъ и проч., соединяющихся въ одинъ общій постепенно увеличивающійся истокъ. Большей частью черезъ валуны, щели, трещины и проч. сбоку и снизу видимаго истока также уходитъ часть воды, которая опять соединяется съ истокомъ ключа, только въ болѣе глубокихъ мѣстахъ образующимся совокупностью всѣхъ его отдѣльныхъ притоковъ.

Весьма существенная разница наблюдается между равнинными ключами, питаніе которыхъ направлено снизу вверхъ (бьющіе ключи), и горными ключами.

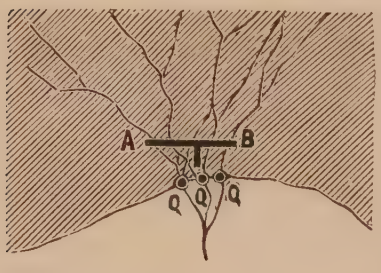
Первые обыкновенно имѣютъ небольшой истокъ, но легко могутъ быть соединены между собой въ одинъ болѣе или менѣе крупный бассейнъ; пока уровень воды замѣтно не опустился, подобная обдѣлка или сборъ воды не имѣетъ никакого вліянія на обиліе ключей или качества воды; пониженіе уровня, какъ указано выше, очень часто имѣетъ своимъ послѣдствіемъ увеличеніе обилія подобныхъ ключей, происходящее насчетъ вышележащихъ истоковъ, питающихся тѣмъ же подпочвеннымъ резервуаромъ.

Совсѣмъ въ иныхъ условіяхъ находятся ключи, появляющіеся на горныхъ склонахъ надъ водонепроницаемыми пластами и которые, распредѣляясь сперва въ массѣ налегающихъ валуновъ, выходятъ изъ нихъ на значительномъ протяженіи въ разныя стороны въ видѣ отдѣльныхъ водяныхъ потоковъ, ключей, родниковъ и проч., поступающихъ въ какую-либо образовавшуюся на горномъ склонѣ сборную канаву.

Если въ подобномъ случаѣ желаютъ собрать всѣ эти отдѣльныя водяныя струи, родники и проч., то не остается ничего другого, какъ пересѣчь ихъ раньше ихъ выхода на склонъ горы. Эта цѣль лучше всего достигается отысканіемъ непроницаемаго слоя, образующаго истокъ воды.

Штольня или каналъ, проложенный сзади отдѣльныхъ ключей надъ непроницаемымъ слоемъ по направленію паденія этого слоя, при достаточной его длинѣ, пересѣчетъ всѣ притоки, образующіе собой отдѣльные ключи.

Но эта мѣра вызываетъ отдвиганіе назадъ и нѣкоторое углубленіе прежнихъ мѣстъ истока, которыя обыкновенно расположены выше непроницаемаго слоя. Такъ, если эти мѣста истоковъ прежде были расположены въ Q, Q, Q, (фиг. 84), то послѣ проведенія упомянутой штольни они расположатся по линіи AB. Длина штольни или канала AB обусловливается болѣе или менѣе сильнымъ развѣтвленіемъ ведущихъ къ отдѣльнымъ ключамъ Q путей или канальцевъ во внутрь горы. Но при всѣхъ обстоятельствахъ истокъ въ AB значительно облегчится въ сравненіи съ прежнимъ истокомъ, и такъ какъ подошва штольни AB расположена глубже ключей Q, то во всей принадлежащей сюда инфильтраціонной области, преимущественно въ ближайшемъ сосѣдствѣ съ AB, произойдетъ пониженіе горизонта грунтовыхъ водъ. Образующееся новое состояніе равновѣсія вызываетъ нѣкоторое уменьшеніе подпочвеннаго резервуара и, вслѣдствіе отодвиганія назадъ самихъ истоковъ, также уменьшеніе питающей инфильтраціонной области, и соотвѣтственно этому общая производительность, а также и водяное хозяйство ключей сдѣлаются менѣе благопріятными, нежели прежде.



Фиг. 84.

Относительно уровня истока потеря можетъ быть возмѣщена, если стѣнки штольни AB со стороны Q сдѣланы по возможности водонепроницаемыми, и насыпкой песку и проч. горизонтъ грунтовыхъ водъ предъ AB подпертъ и приведенъ въ первоначальное свое положеніе. Что же касается потери въ области инфильтраціи, то никакое возстановленіе ея здѣсь невозможно.

Поэтому во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда при ограниченной области инфильтраціи и незначительномъ подпочвенномъ резервуарѣ для надлежащей обдѣлки ключей на горныхъ склонахъ оказывается необходимымъ отодвигать назадъ истокъ ключа, неизбѣжно должно происходить уменьшеніе производительности ключа (ср. отд. I, гл. 7).

Это уменьшеніе при пользованіи ключемъ обнаруживается различнымъ образомъ. Оно бываетъ едва замѣтно, когда ведущія изъ нѣдръ земли къ ключамъ водяныя жилы по всему своему протяженію имѣютъ весьма малые размѣры, и если не происходитъ значительнаго пониженія уровня ключа. Наоборотъ, пониженіе уровня ключа дѣйствуетъ уничтожающимъ образомъ на водяное хозяйство ключа, если уничтоженіемъ подпорнаго сооруженія или образованіемъ широкихъ выходовъ изъ грунтоваго резервуара производится быстрое опоражниваніе послѣдняго. Въ періоды засухи подобный ключевой бассейнъ даетъ очень мало воды или совершенно ея не даетъ, и вообще стоитъ въ прямой связи съ дождями. Затѣмъ если пути отъ грунтоваго резервуара къ сборному сооруженію раньше были заполнены пескомъ и гравіемъ, которые постепенно вымывались водой, то вслѣдствіе недостаточнаго очищенія инфильтраціи, проникающихъ въ верхнія менѣе глубокія части грунтоваго резервуара, происходитъ замутнѣ-

ніе воды *). Само собой разумѣется, что пріемная труба, а также и сливныя трубы, спуски и провода отъ штольни и проч. должны быть правильно разсчитаны; при опредѣленіи ихъ размѣровъ постоянно принимаютъ въ разсчетъ наибольшее количество воды, и вычисленія производятся по правиламъ, изложеннымъ ниже (см. отд. III и IV).

Наконецъ, необходимо обратить вниманіе на то обстоятельство, что въ каждомъ данномъ случаѣ ключевой сборъ или обдѣлка можетъ содержаться въ исправномъ состояніи во всякое время лишь тогда, когда на извѣстномъ протяженіи вся окружающая мѣстность находится въ полномъ нашемъ распоряженіи. Это условіе должно быть соблюдено также съ цѣлью предупрежденія отводовъ ключей другими, а также и неподходящаго заселенія мѣстности вблизи ключа. Здѣсь рекомендуется величайшая осторожность и дальновидность, такъ какъ всегда необходимо имѣть въ виду, что прикупка земли впослѣдствіи связана съ тѣмъ большими жертвами, чѣмъ дольше она отсрачивается.

Затѣмъ разсмотримъ отдѣльныя сооруженія, соотвѣтствующія изложеннымъ выше общимъ основнымъ положеніямъ, причемъ для большей наглядности будутъ разсмотрѣны отдѣльно равнинные ключи и горные ключи.

Обдѣлка равнинныхъ ключей.

Если ключъ появляется на обширной равнинѣ, то онъ обыкновенно заполняетъ небольшой болѣе или менѣе глубокій бассейнъ, отъ котораго идетъ истокъ большей частью съ небольшимъ паденіемъ.

Въ самомъ бассейнѣ, а также и въ отводной канавѣ почти всегда развивается обильная растительная и животная жизнь. Получаемая изъ него вода содержитъ въ себѣ много органическихъ веществъ, обязанныхъ своимъ происхожденіемъ различнымъ водянымъ растеніямъ, рыбамъ, насѣкомымъ и проч.; кромѣ того вода подвержена внѣшнимъ загрязненіямъ отъ людей и животныхъ, а также отъ различныхъ наносовъ при проливныхъ дождяхъ и проч., при чемъ она недостаточно предохранена отъ вліянія жары и холода. Поэтому вода изъ подобнаго ключа не можетъ быть непосредственно употреблена для снабженія питьевой водой, кромѣ только исключительныхъ случаевъ, когда, напр., бассейнъ очень глубокъ, и всасывающая или пріемная труба проведена въ глубокую часть бассейна. Но и въ этомъ случаѣ по меньшей мѣрѣ требуется огражденіе ключа для защиты его отъ внѣшнихъ загрязненій людьми и животными и для задержанія поверхностной воды; во всѣхъ же другихъ случаяхъ рекомендуется обдѣлка ключа.

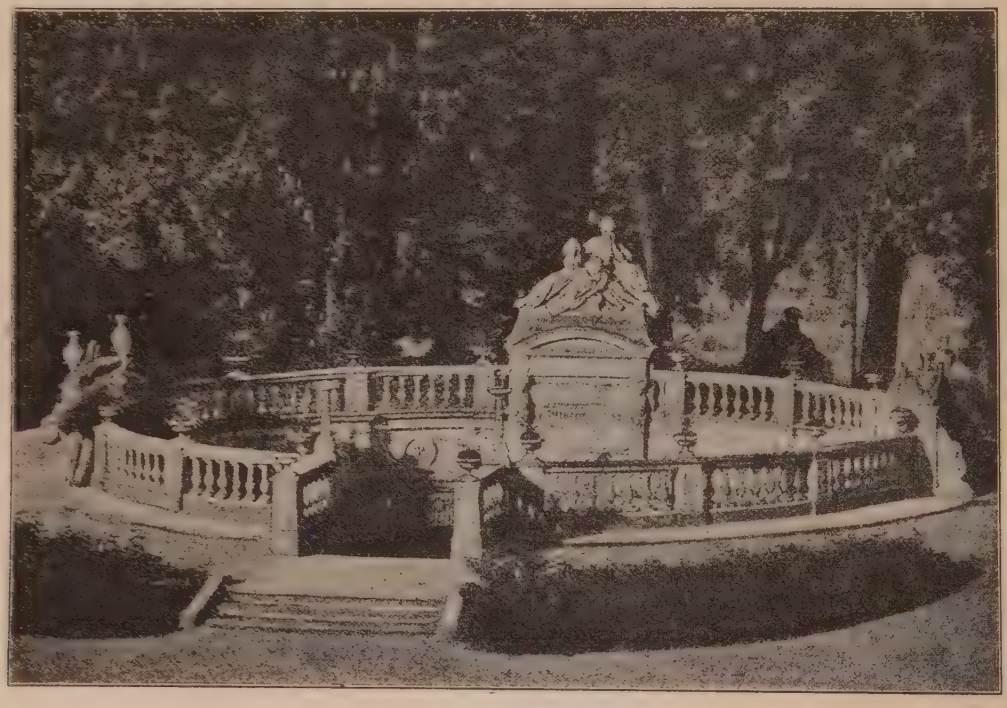
Эта обдѣлка можетъ быть произведена болѣе или менѣе совершенно. Но прежде всего считаемъ нужнымъ здѣсь замѣтить, что часто примѣняемыя въ видѣ сборныхъ сооруженій дешевыя деревянныя обдѣлки не заслуживаютъ одобренія и не могутъ быть рекомендованы. Дерево образуетъ собой очагъ разлагающихъ волокна бактерій, питающихся составными частями волоконъ и уносимыхъ водой. Еще вреднѣе бываетъ дерево, какъ питательное вещество для быстро размножающихся водяныхъ осликовъ, остатки которыхъ (мертвыя тѣла, обгрызенныя древесныя волокна и изверженія) сильно загрязняютъ воду. Различные черви, слизняки, водяныя блохи и проч. увеличиваютъ собой непривлекательность подобныхъ сооруженій.

*) Муть въ водѣ появляется и тогда, когда при временномъ увеличеніи количества истока по наиболѣе свободнымъ путямъ изъ щелей вымываются различныя глинистыя отложенія (см. отд. I).

Наиболѣе солидный способъ обдѣлки состоитъ въ устройствѣ каменнаго бассейна, въ которомъ скопляются всѣ выступающіе ключи, и въ огражденіи его для предохраненія отъ внѣшнихъ загрязненій. При подобной обдѣлкѣ въ ключевую воду могутъ попадать только нечистоты отъ атмосферныхъ осадковъ или нечистотъ изъ воздуха (напр., пыль, изверженія птицъ и проч.), которыя не имѣютъ замѣтнаго вреднаго вліянія.

Для примѣра приводимъ здѣсь устроенную по этому принципу обдѣлку Дунайскаго ключа въ Донауешингенѣ (въ великомъ герцогствѣ Баденскомъ у истока Дуная).

Ключъ выходитъ между церковью и княжескимъ замкомъ въ Донауешингенѣ, на разстояніи 19 метр. отъ юго-западнаго его угла во дворѣ замка; отъ этого ключа получилъ свое названіе Дунай (до мѣста впаденія этого ключа рѣка называется „Бригахъ"), и онъ былъ извѣстенъ еще въ древнія времена. Прежняя весьма изящная обдѣлка этого ключа въ послѣднее время перестроена Вейнбреннеромъ (нынѣ профессоромъ высшей технической школы въ Карлсруэ) и изображена въ общемъ видѣ на фиг. 85, а въ вертикальномъ разрѣзѣ на фиг. 86.

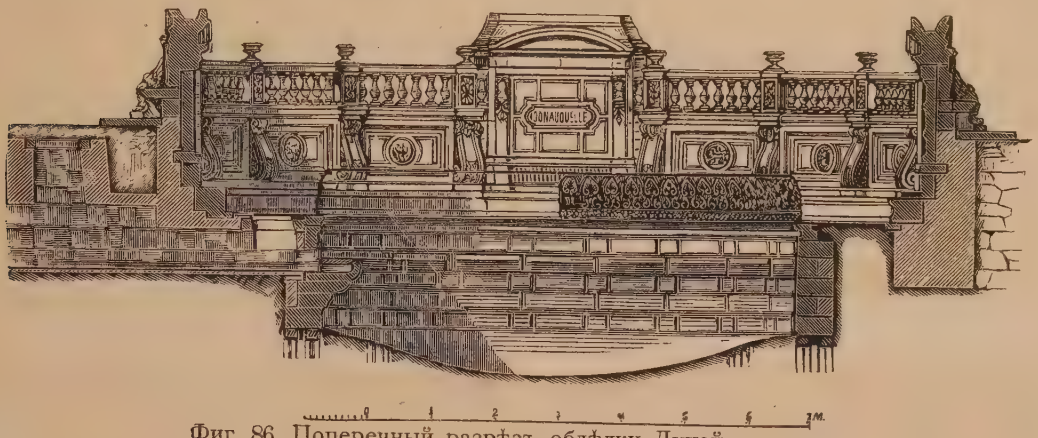


Фиг. 85. Видъ обдѣлки Дунайскаго ключа въ Донауеншингенѣ.

Вода собирается въ кругломъ бассейнѣ діам. 7,5 метр. Стѣнки бассейна покоятся на ростверкѣ поверхъ свай и сложены изъ тесаныхъ камней; приблизительно на $1^1/_2$ метра выше дна, состоящаго изъ хряща, имѣется водосливъ, сообщающійся съ отводнымъ каналомъ. Опредѣляемый такимъ образомъ постоянный уровень воды лежитъ приблизительно на 2 метра ниже поверхности земли; на 60 сантим. выше уровня воды, сбоку огражденнаго желѣзной рѣшеткой края обдѣлочнаго колодца, расположена галлерея шир. 1,5 метр., на которую ведетъ наружная лѣстница; съ этой галлереи ведрами черпаютъ изъ бассейна воду для питья и другого домашняго употребленія; вода весьма чиста и прозрачна и имѣетъ приблизительно постоянную температуру. Свободная поверхность воды ничѣмъ не прикрыта и расположена выше наивысшаго уровня воды въ Бригахѣ.

Само собой разумѣется, что можно достигнуть болѣе совершенной обдѣлки подобныхъ ключей, вполнѣ закрывая поверхность уровня воды, или устраивая

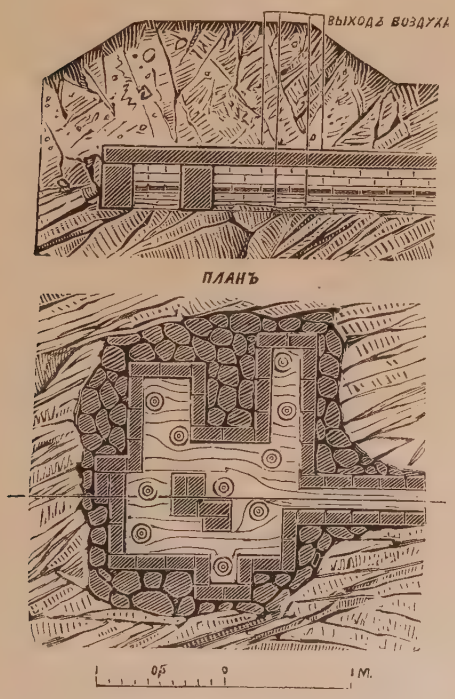
надъ обдѣлочной стѣнкой совершенно замкнутое покрытіе. Но подобныя сооруженія обходятся довольно дорого; ранѣе описанія подобныхъ сооруженій укажемъ здѣсь на нѣкоторыя болѣе простыя обдѣлки, выполненныя въ Баденскомъ Шварцвальдѣ.



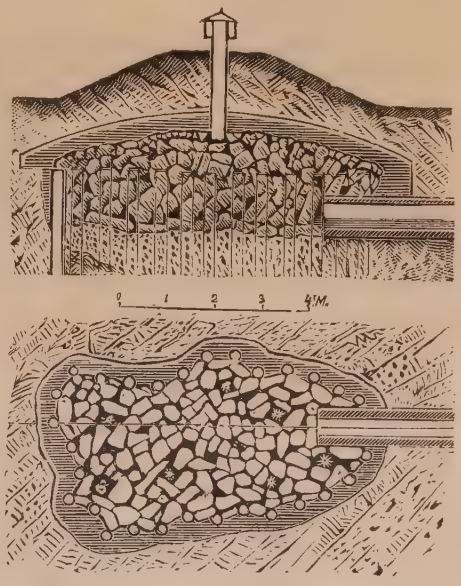
Фиг. 86. Поперечный разрѣзъ обдѣлки Дунайскаго ключа.

Любергеръ*) въ своей замѣткѣ сообщаетъ слѣдующее:

Ключи въ осадочныхъ отложеніяхъ Дунайскихъ болотъ и въ песчаныхъ слояхъ нижняго пестраго песчаника, напр., при Леффингенѣ, выступаютъ изъ песковъ, энергично подымаясь снизу вверхъ; они не могутъ быть собраны ниже, вслѣдствіе недостатка стока. Большіе ключевые пруды, какъ напр. въ дворцовомъ саду въ Донауешингѣ (противъ Дунайскаго ключа) величиной больше 1 гектара, могутъ быть только окружены стѣной. Меньшіе же пруды съ площадью уровня воды отъ 11 до 30 кв. метр. закрываются крышами, упирающимися въ берега прудовъ. Растенія и животныя весьма сильно загрязняютъ подобные ключи.



Фиг. 87. Обдѣлка бьющихъ ключей въ пестромъ песчаникѣ.



Фиг. 88. Простѣйшая обдѣлка бьющихъ ключей.

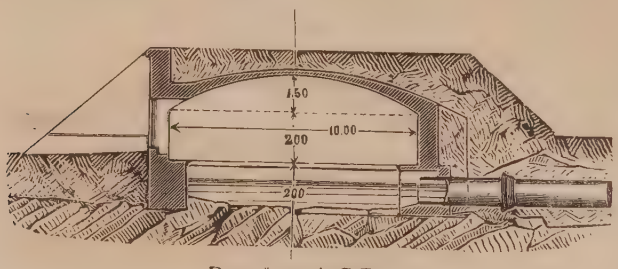
*) Lubberger. Die Quellenbildung in den verschiedenen geologischen Formationen. Journ. f. Gasbel und Wasservers. 1884 г. т. 27 стр. 269.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, преимущественно при Леффингенѣ поверхность дна у выхода ключей была выложена безъ воды, а подымающіеся въ различныхъ мѣстахъ ключи были собраны помощью сѣти кирпичныхъ сточныхъ каналовъ (см. фиг. 87). Эта сѣть каналовъ сверху снабжена бетоннымъ потолкомъ, входящимъ въ почву и образующимъ родъ крыши для отвода дождевыхъ инфильтрацій. Конечно, необходимо устроить отверстія для выхода воздуха изъ каналовъ.

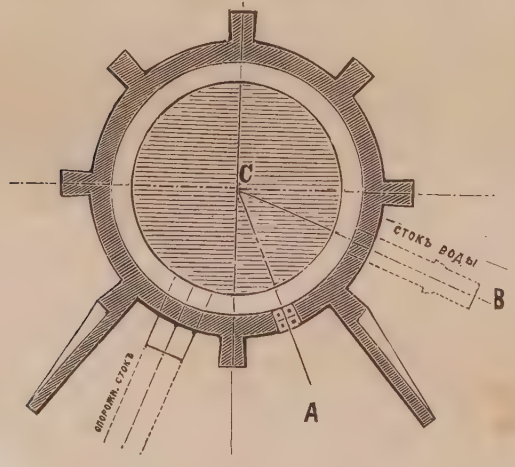
Въ другомъ случаѣ, гдѣ оказалось невозможнымъ отвести всю воду, фундаментная канава была окружена свайной стѣнкой до поверхности земли, а все пространство, на которомъ подымались ключи, было заполнено большими камнями и покрыто непроницаемой покрышкой.

Послѣдній способъ устройства по своей простотѣ и дешевизнѣ можетъ быть признанъ весьма удачнымъ; водонепроницаемое покрытіе можетъ быть сдѣлано изъ суглинка или смѣси глины съ пескомъ. На фиг. 88 показано подобное сооруженіе, причемъ слѣдуетъ замѣтить, что подобное сооруженіе имѣетъ то весьма важное преимущество, что оно безъ значительныхъ затратъ во всякое время можетъ быть откопано для осмотра и очистки. Само собой разумѣется, что и здѣсь необходимо приспособленіе для выпусканія воздуха, которое весьма удобно можетъ быть устроено въ видѣ вертикальной воздушной трубы, снабженной вверху колпакомъ, какъ показано на ф. 88.

Относительно всѣхъ подобныхъ сооруженій слѣдуетъ замѣтить, что занесеніе ихъ пескомъ можетъ произойти только при значительномъ пониженіи уровня ключа; обыкновенно же мы здѣсь видимъ одинъ и тотъ же песокъ, кружащійся на одномъ мѣстѣ отъ выступанія воды изъ ключа. Впрочемъ, даже при пониженіяхъ уровня ключа песчаные заносы рѣдко бываютъ настолько сильны, чтобы вызывать необходимость (какъ, напр., въ ключахъ на горныхъ склонахъ или отвалахъ) правильной чистки ежегодно или черезъ каждые полгода.



Разрѣзъ A C B.



Фиг. 89. Обдѣлка ключей Арменты (Ванъ Парижъ). Масштабъ 1:300.

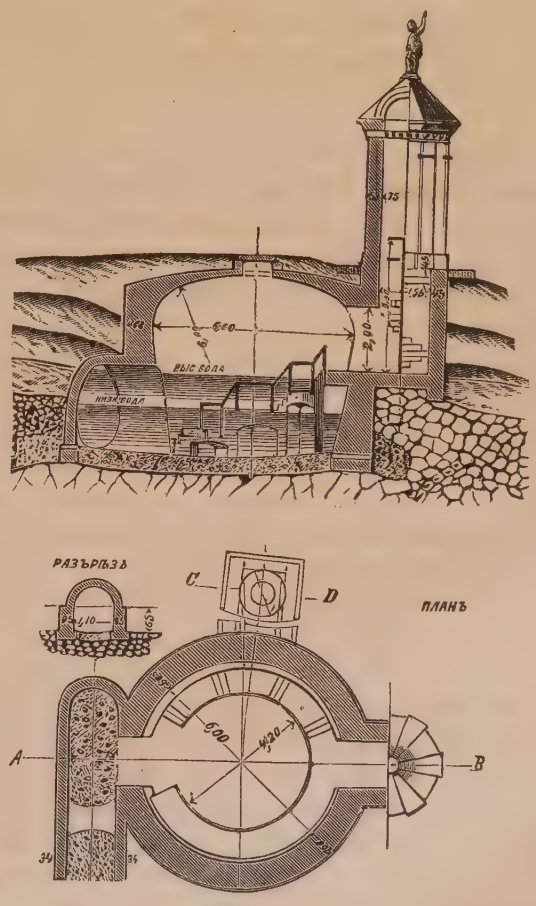
Грандіозныя великолѣпныя обдѣлки бьющихъ ключей были устроены при водоснабженіи Парижа. Примѣръ подобнаго устройства представляетъ собой сборная шахта или камера ключа Серилли, описанная нами выше (см. отд. I, гл. 10) въ положеніи ея до обдѣлки. Она образуетъ обширный глубокій ключевой прудъ или бассейнъ, въ настоящее время огражденный четырехугольнымъ каменнымъ сводчатымъ покрытіемъ; при этомъ уровень воды въ ключѣ былъ замѣтно пониженъ. Менѣе грандіозная, но замѣчательная по особой своей конструкціи сборная камера ключей Армантье (Ванъ, Парижъ) изображена на фиг. 89.

Бассейнъ имѣетъ круглую форму діам. 10 метр. Покрытый землей весьма плоскій сводчатый потолокъ производитъ весьма значительное горизонтальное давленіе на опоры, которое воспринимается показанными на чертежѣ столбами. Для доступа въ камеру имѣется наружная входная дверь, а камера внутри снабжена галлереей. Сливнаго приспособленія въ камерѣ не имѣется, но въ ней устроенъ спускъ для опорожниванія на случай чистки дна бассейна. Вентиляція бассейна происходитъ черезъ входную дверь. Все сооруженіе сохранилось въ полной исправности до настоящаго времени.

Подобная же обдѣлка ключей устроена Маскеле для водоснабженія города Лилля ключевой водой при Германе и показана на фиг. 90. Бьющія вверхъ ключи въ окрестностяхъ Лилля всѣ выходятъ изъ песчанаго проницаемаго мѣлового пласта, ограниченнаго твердой мѣловой породой, заполненной аггрегагами фосфорнокислой извести. Эти породы покрыты еще осадочными глинами и гравіемъ.

Прежде бьющіе ключи прорывались черезъ настилающіе пласты и вызывали образованіе болота въ долинѣ р. Эммеринъ, въ которой они, выходя на дневную поверхность, смывали глинистые и др. пласты и образовали собой родъ грунтоваго истока въ наносахъ.

Одинъ изъ наиболѣе сильныхъ ключей выступилъ при Германе. Существующіе вблизи чистые грунтовые потоки сборнымъ каналомъ проведены въ колодцевую камеру, расположенную надъ выступающимъ ключемъ. Эта камера имѣетъ круглую форму, какъ показано на ф. 90, и покрыта сводомъ; входъ въ камеру сдѣланъ черезъ устроенную сбоку башню. Внутри камеры устроена окруженная перилами галлерея, къ которой ведетъ винтовая лѣстница изъ башни. Устроенное въ замкѣ свода отверстіе служитъ для опусканія въ камеру и вытаскиванія изъ нея различныхъ матеріаловъ при чисткѣ или исправленіяхъ. На полу колодцевой камеры и сборной галлереи насыпанъ фильтръ изъ хряща для препятствованія поднятію клубами песку и проч.



Фиг. 90. Обдѣлка ключа при Германе. Масшт. 1:225.

Иногда со сборомъ подобныхъ бьющихъ ключей связано устройство крупнаго сборнаго сооруженія для притягиванія той воды, которая протекаетъ сбоку обдѣлки. Въ этихъ случаяхъ общія расположенія немного разнятся отъ описываемыхъ нами ниже въ гл. 7 и 8. Испытанія, которыя должны быть предварительно произведены, будутъ разсмотрѣны нами въ гл. 6.

Вообще въ отдаленныхъ мѣстностяхъ, гдѣ съ большимъ трудомъ можно найти опытныхъ рабочихъ и необходимые матеріалы, всѣ конструкціи должны быть по возможности проще и прочнѣе, даже если уходъ и чистка были бы мало удобны. Такъ, напр., въ подобныхъ случахъ мы предлагаемъ не дѣлать стѣнъ съ большими наружными поверхностями, входныхъ дверей и т. п.; гораздо цѣлесообразнѣе въ такихъ случаяхъ оказываются лазовые колодцы или смотровыя шахты. Главнымъ образомъ это справедливо для нашего климата, гдѣ при сильныхъ

морозахъ обсыпанная землей и соприкасающаяся внутри съ водяными парами каменная кладка сильно портится, если имѣетъ еще открытыя наружныя поверхности. Если обнаружившіяся поврежденія тотчасъ же не исправляются, то вездѣ расходятся швы, наружный видъ портится, а предохраняющее дѣйствіе стѣны нарушается. Замки во входныхъ дверяхъ при рѣдкомъ ихъ употребленіи ржавѣютъ, такъ что вслѣдствіе этого часто нѣтъ возможности осматривать сооруженіе. Всѣ эти недостатки совершенно устранены при устройствѣ лаза или опускной шахты. Окруженная вездѣ землей каменная кладка никогда не мерзнетъ, сниманіе шахтной крышки, т. е. доступъ въ шахту всегда происходитъ очень легко, и, наконецъ, нѣкоторая затруднительность осмотра и чистки сборнаго сооруженія не имѣетъ никакого значенія въ сравненіи съ указанными преимуществами, главнымъ образомъ если еще принять во вниманіе, что чистка вообще требуется довольно рѣдко, и что при примѣненіи шахты достигается болѣе полное предохраненіе отъ жары и холода, нежели при устройствѣ входной двери. Вообще для наружнаго вида подобныхъ сооруженій никогда не слѣдуетъ жертвовать практической ихъ цѣлесообразностью.

Обдѣлка горныхъ ключей.

Выступающіе сбоку на горномъ склонѣ ключи должны быть обдѣланы совершенно иначе, нежели вертикально бьющіе ключи. Въ этихъ случаяхъ прежде всего необходимо изучить характеръ ключей. Здѣсь необходимо прослѣдить за отдѣльными водяными струйками, изъ которыхъ развиваются ключи для отысканія непроницаемаго слоя, а въ случаѣ его глубокаго залеганія (напр., при ключахъ изъ трещинъ) необходимо опредѣлить ближайшія причины истеченія воды. Въ этомъ отношеніи можно руководствоваться изложенными выше соображеніями (см. отд. I), а относительно способовъ обдѣлки описываемыми ниже примѣрами изъ практики.

Предохраненіе противъ мути отъ инфильтрацій. Большей частью не удается добыть всѣ данныя для совершенно точнаго заключенія о мѣстѣ происхожденія воды. Въ этихъ случаяхъ приходится по извѣстнымъ намъ даннымъ сдѣлать заключенія о неизвѣстныхъ величинахъ; чѣмъ менѣе надежно это основаніе нашихъ разсчетовъ, тѣмъ болѣе слѣдуетъ воздержаться отъ какихъ-либо существенныхъ измѣненій существующихъ условій.

Впрочемъ, иногда при весьма простыхъ, повидимому, условіяхъ бываетъ трудно сохранять существующее состояніе ключа, если ключевая обдѣлка должна доставлять совершенно чистую воду.

Ключи, расположенные у подошвы весьма крутыхъ горныхъ склоновъ или высокихъ обрывовъ скалъ, по природѣ своей вообще получаютъ весьма мало или совершенно не получаютъ нефильтрованныхъ атмосферныхъ осадковъ. Горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ на нѣсколько метровъ за началомъ ключа, а иногда даже у самаго начала его довольно глубоко подъ поверхностью почвы, и атмосферные осадки быстро стекаютъ по крутымъ склонамъ или обрывамъ почти исключительно по ихъ поверхности. То незначительное количество воды, которое просачивается въ породу, проходитъ настолько длинный путь, что она достигаетъ горизонта грунтовыхъ водъ въ совершенно чистомъ видѣ. Въ подобномъ случаѣ можно производить обдѣлку ключа безъ существеннаго измѣненія его истока. Небольшая штольня, дренажная кладка (каменная кладка безъ раствора), или заложенная

непосредственно въ крутомъ откосѣ колодцевая камера дастъ возможность легко и удобно провести воду къ снабжаемой мѣстности.

Совсѣмъ иное явленіе замѣчается, если ключъ выступаетъ на отлогомъ склонѣ, и какъ это обыкновенно и бываетъ, надъ нимъ или соотвѣтственно надъ горизонтомъ грунтовыхъ водъ находится непроницаемая почва. Подобные ключи почти безъ исключенія, при продолжительныхъ дождяхъ, получаютъ недостаточно очищенныя инфильтраціи, такъ какъ путь послѣднихъ отъ поверхности почвы до ключа при началѣ послѣдняго равенъ нулю, а за началомъ ключа, возрастаетъ весьма медленно, не пропорціонально подъему почвы, но въ гораздо меньшей степени, такъ какъ вмѣстѣ съ подъемомъ почвы подымается также и горизонтъ грунтовыхъ водъ. Если желательно сохранять истокъ, то за ключемъ на значительномъ протяженіи необходимо уплотнять или герметически закупорить естественную почву, чтобы только очищенныя инфильтраціи могли достигать подпочвы. На какой именно длинѣ и ширинѣ должно производиться это уплотненіе, весьма трудно узнать, такъ какъ притоки проходятъ къ истокамъ по безсчисленному множеству путей; кромѣ того, въ подобныхъ случаяхъ при продолжительныхъ дождяхъ иногда появляются такіе притоки, русла которыхъ въ нормальное время бываютъ совершенно сухи.

Отсюда видно, что при условіяхъ даже допускающихъ рѣшеніе этой задачи, послѣднее связано съ значительными затратами. Поэтому обыкновенно прибѣгаютъ къ другому способу, при которомъ истокъ ключа переносится назадъ на такую глубину подъ поверхностью почвы, при которой только очищенныя инфильтраціи могутъ достигнуть подпочвы. Эта глубина въ проницаемой почвѣ, какъ показали опыты, составляетъ по меньшей мѣрѣ 2—3 метр., при чемъ предполагается, что верхній метръ хотя бы пористой почвы (гумуса, песку, валуновъ) свободенъ отъ щелей и трещинъ.

Выше мы уже видѣли, что перенесеніе истока ключа требуется также и другими соображеніями, и указали на послѣдствія подобнаго переноса для обилія ключа: величина полезной инфильтраціонной области, а также и подпочвеннаго резервуара, уменьшается, и вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается также и обиліе ключа и его постоянство. Эти потери, естественно, увеличиваются, когда послѣднее указанное условіе—отлогій подъемъ мѣстности за началомъ ключа—соединяется съ упомянутыми выше неблагопріятными обстоятельствами—выступленіемъ ключа въ видѣ множества отдѣльныхъ, удаленныхъ другъ отъ друга, водяныхъ струй и проч. Въ зависимости отъ условій мѣстоположенія, отдѣльныя водяныя струи помощью небольшихъ водосборныхъ штоленъ или галлерей (фиг. 84) должны быть направлены къ тому мѣсту, куда перенесено начало ключа, и собраны въ сборникъ или бассейнъ чистой воды (колодцевую камеру, ключевую шахту, ключевой прудъ и проч.). Остальныя условія, которымъ должна удовлетворять сама обдѣлка, въ общемъ приведены нами выше; здѣсь разсмотримъ нѣсколько подробнѣе эти условія для ключей на горныхъ склонахъ.

Предохраненіе отъ внѣшнихъ засореній. Если обдѣлка ключа достаточно глубока, то онъ прежде всего будетъ предохраненъ отъ попаданія въ него неочищенныхъ атмосферныхъ осадковъ, если приняты мѣры противъ прониканія дождевой воды черезъ входныя двери или спускныя шахты. Предупрежденіе попаданія въ бассейнъ дождевой воды черезъ входныя двери или шахты достигается тѣмъ, что порогъ двери располагается на доста-

точной высотѣ отъ земли, а почвѣ придается уклонъ отъ порога кнаружи. На дверныхъ полотнахъ слѣдуетъ также прибить рейки для закрыванія щелей между дверью и рамой, а также и щели между дверными полотенцами двустворчатыхъ дверей.

При спускныхъ шахтахъ для доступа въ обдѣлку ключа внѣшнія засоренія устраняются тѣмъ, что шахту устраиваютъ отдѣльно отъ бассейна чистой воды и отъ шахты проводятъ водоспускъ, который постоянно можетъ быть соединенъ съ водосливной и водоспускной трубами. Менѣе удовлетворительными оказываются тѣ устройства, при которыхъ спускная шахта расположена непосредственно надъ бассейномъ чистой воды. Даже если наружный край шахтной крышки обдѣланъ въ рамку, при сильныхъ проливныхъ дождяхъ поверхностная вода можетъ попадать въ бассейнъ черезъ промежуточную щель; затѣмъ совершенно неизбѣжно загрязненіе отъ сапогъ рабочихъ и проч. Еще хуже бываетъ при примѣненіи исключительно плоскихъ крышекъ съ отверстіемъ для ключа по срединѣ, какъ это, къ сожалѣнію, встрѣчается весьма часто, преимущественно если спускныя шахты расположены по дорогамъ. Черезъ эти отверстія въ подобныхъ случаяхъ въ бассейнъ чистой воды неизбѣжно попадаютъ загрязненныя дождевыя воды, и при каждомъ ливнѣ образуютъ мутные истоки изъ этого бассейна.

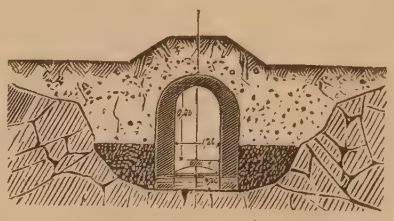
Если, какъ это часто бываетъ, обдѣлка ключа расположена въ выемкѣ, и по сосѣдству съ ключемъ находятся ручьи и т. под., то безусловно должны быть приняты мѣры противъ попаданія высокой воды ручья въ ключевую обдѣлку. Онѣ должны прежде всего состоять въ отводныхъ канавахъ вокругъ обдѣлки; затѣмъ въ интересахъ удовлетворительнаго дѣйствія сооруженія слѣдуетъ произвести углубленіе русла ручья или устроить плотину для удержанія высокихъ водъ.

Точно также черезъ воздухоотводныя шахты (или вентиляціонныя трубы) злоумышленно можетъ быть произведено загрязненіе, если онѣ не снабжены приспособленіями для удержанія забрасываемыхъ предметовъ или наливаемыхъ жидкостей и препятствованія ихъ попаданію въ бассейнъ чистой воды. Это загрязненіе можетъ быть предупреждено устроеннымъ надъ вентиляціонной трубой колпакомъ (какъ на ф. 88), или помѣщенной въ воздухоотводной шахтѣ корзинкой. Менѣе удовлетворительными для этой цѣли оказываются помѣщенныя на верхнемъ концѣ воздухоотводной трубы проволочныя сѣтки; однако и онѣ неизбѣжны для задержанія различныхъ насѣкомыхъ и птицъ, попаданіе которыхъ въ обдѣлку влечетъ за собой большія неудобства.

Доступность. Всякая обдѣлка ключа должна быть доступна во всѣхъ своихъ частяхъ. Кромѣ того требуется, чтобы доступы въ обдѣлку, опусканіе въ нее различныхъ строительныхъ матеріаловъ въ случаѣ исправленія, а также и вытаскиваніе изъ нея песку и проч. производились безъ затрудненій. Само собой разумѣется, что эта цѣль удобнѣе всего достигается высокими и широкими дверьми; менѣе удобно, но дешевле она можетъ быть достижима спускными шахтами. Бассейны чистой воды, за которыми расположены еще штольни или галлереи, должны быть снабжены помостами цѣлесообразной профили, чтобы взрослый рабочій, не особенно сильно нагибаясь, могъ бы проходить по нимъ. Точно также это условіе должно быть соблюдено и для примыкающихъ штолень или галлерей. Замѣтимъ здѣсь, что для возможности прохода профиль сѣченія должна быть не меньше 1,6 метр. въ высоту и

0,7 метр. въ ширину. Штольни и галлереи очень часто снабжаются дорожками для прохода въ видѣ панелей съ правой и лѣвой стороны жолоба въ подошвѣ, по которому протекаетъ ключевая вода. Если же вся подошва штольни должна служить для прохода воды, то панели устраиваются на поперечинахъ, причемъ употребляется только каменная кладка или желѣзо.

На фиг. 91 изображена подобная каменная дорожка (мостъ), какъ это устроено въ галлереяхъ Ваннскихъ ключей водоснабженія Парижа. Она расположена на аркахъ, имѣющихъ свои опоры на стѣнкахъ канала. Это устройство представляетъ собой самое прочное изъ всѣхъ существующихъ; но съ другой стороны оно сильно препятствуетъ чисткѣ подошвы канала. Въ этомъ отношеніи гораздо удобнѣе будутъ дубовые полы, настланные по задѣланнымъ въ стѣнкѣ канала желѣзнымъ поперечинамъ (см. ф. 99). Вмѣсто деревянныхъ половъ могутъ быть уложены полы изъ металлическихъ листовъ или полы системы Монье.



Фиг. 91.
Обходная сборная галлерея.

Винтовыя лѣстницы въ колодцеобразныхъ входныхъ шахтахъ мы считаемъ нецѣлесообразными, такъ какъ онѣ сильно затрудняютъ доставку строительныхъ матеріаловъ въ обдѣлку; при подобномъ устройствѣ обыкновенно дѣлаются еще особыя спускныя шахты для опусканія туда различныхъ матеріаловъ при исправленіяхъ или вытягиванія оттуда различныхъ предметовъ при чисткѣ.

Предохраненіе отъ мороза и жары. Обдѣлочныя сооруженія обыкновенно бываютъ уже достаточно защищены противъ нагрѣванія и охлажденія внѣшней температурой, если при ихъ устройствѣ приняты во вниманіе требованія относительно защиты противъ загрязненія извнѣ. Когда входъ въ колодцевую камеру происходитъ черезъ двери, то послѣднія слѣдуетъ дѣлать съ двойными стѣнками, между которыми находится слой воздуха, какъ дурной проводникъ тепла. При спускныхъ шахтахъ внѣшняя температура очень мало вліяетъ на температуру внутри обдѣлки. Впрочемъ, такъ какъ обыкновенно бассейны чистой воды не содержатъ въ себѣ большихъ количествъ ея, и такъ какъ вода изъ нихъ постоянно стекаетъ, т. е. безпрерывно обновляется, то вообще внѣшняя температура, даже при самыхъ неблагопріятныхъ обстоятельствахъ, весьма мало вліяетъ на температуру воды.

Воздухоотводныя приспособленія. Во всѣхъ почти обдѣлкахъ ключей является испорченный воздухъ; объ удаленіи этого воздуха, т. е. о правильной вентиляціи обдѣлки необходимо озаботиться не только въ виду вреднаго вліянія испорченнаго воздуха на качества воды, но также и въ виду опасности такого воздуха для рабочихъ, обходящихъ и осматривающихъ обдѣлку. Для этой цѣли въ замкѣ наиболѣе высоко расположеннаго свода надъ обдѣлкой устраивается вытяжная труба, оканчивающаяся снаружи помѣщенія; черезъ эту трубу въ связи съ поступающимъ черезъ водосливную или водоспускную трубу извнѣ воздухомъ происходитъ постоянная весьма энергичная вентиляція. Если обдѣлочное сооруженіе снабжено смотровой шахтой, то при выступающей крышкѣ лаза вентиляція производится черезъ эту шахту. Если обдѣлка устроена такъ, что доступъ къ ней возможенъ только путемъ откопки, то при существованіи сливной трубы вентиляція дѣлается излишней.

Приспособленія для удаленія излишней воды, для спусканія всей воды, для задержанія песку, пріемная труба и из-

мѣрительныя приспособленія. Всѣ почти болѣе крупныя обдѣлочныя сооруженія устраиваются удобопроходимыми; дорожки обыкновенно располагаются вблизи нормальнаго уровня воды, такъ какъ при подобномъ устройствѣ получается меньшая ихъ стоимость. Въ интересахъ чистоты слѣдуетъ располагать эти дорожки такъ, чтобы вода никогда бы не переливалась черезъ нихъ и не обмывала бы ихъ. Но независимо отъ этого иногда происходитъ перерывъ нормальнаго истока ключа, какъ напр. вслѣдствіе засоренія пріемной сѣтки или вслѣдствіе закрытія провода задвижкой и т. д. Вслѣдствіе этого въ каждомъ сборномъ сооруженіи необходимо установить извѣстный наивысшій уровень воды, т. е. устроить водосливъ, автоматически удаляющій воду при повышеніи уровня выше опредѣленнаго предѣла. Обыкновенно для этой цѣли устраивается водосливъ или водосливная труба.

При всѣхъ обстоятельствахъ бассейнъ чистой воды долженъ быть снабженъ отверстіемъ для спуска всей воды и опоражниванія бассейна съ цѣлью исправленія или чистки.

Если какой нибудь ключъ временами выноситъ значительныя количества песку, какъ это напр. имѣетъ мѣсто въ ключахъ изъ пестрыхъ песчаниковъ, изъ третичныхъ формацій и проч., то бассейнъ чистой воды обыкновенно получаетъ характеръ осадочнаго бассейна (для улавливанія песку), для чего ему придаютъ болѣе или менѣе значительную длину (до 6 метр.), а вода впускается въ него широкими струями. Замедленіе движенія воды имѣетъ своимъ послѣдствіемъ осѣданіе всѣхъ взвѣшенныхъ въ ней примѣсей (ф. гл. 5).

Предъ водопроводной трубой, отводящей воду къ снабжаемой мѣстности, необходимо расположить сѣтку; обыкновенно эти сѣтки дѣлаются изъ мѣди и вылуживаются. Площадь поперечнаго сѣченія проходовъ должна быть такъ разсчитана, чтобы скорость воды не превышала 0,4—0,6 метр. въ секунду (ф. отд. IV). Впускное отверстіе этой трубы или канала должно быть расположено на 0,5—1 метр. выше подошвы бассейна чистой воды, какъ упомянуто выше.

Во всякомъ обдѣланномъ ключѣ весьма важно знать его производительность и нормальныя ея колебанія (см. отд. I. гл. 12). Для этой цѣли рекомендуется во всѣхъ обдѣлочныхъ сооруженіяхъ устраивать приспособленія для опредѣленія этой производительности.

Если бассейнъ чистой воды имѣетъ прямоугольное или вообще какое-либо правильное горизонтальное поперечное сѣченіе F, то производительность ключа легко опредѣляется наблюденіемъ промежутка времени, потребнаго для наполненія бассейна отъ высоты h_0 до уровня h_1. Если n будетъ число секундъ, потребныхъ для этого наполненія, то количество воды въ секунду будетъ

$$Q = \frac{F\,(h_1 - h_0)}{n}$$

Измѣренія должны производиться черезъ правильные промежутки времени.

Но удобнѣе будетъ для этой цѣли употреблять автоматическій самопишущій приборъ. Для этого устраиваютъ водосливъ (см. ниже), надъ которымъ помѣщается поплавокъ съ прикрѣпленной къ нему штангой. На этой штангѣ имѣется штифтъ, чертящій діаграмму на барабанѣ, приводимомъ во вращеніе помощью часоваго механизма.

Всѣ эти общія соображенія приведены нами для того, чтобы при дальнѣйшемъ описаніи примѣровъ исполненныхъ сооруженій не останавливаться на каждой отдѣльной детали, предполагая назначеніе ея извѣстнымъ. Мы полагаемъ, что ниже приводимые примѣры дадутъ намъ нѣкоторыя весьма цѣнныя указанія относительно общихъ способовъ обдѣлки ключей и сбора ключевой воды. Тѣмъ не менѣе необходимо принять въ соображеніе, что установленіе какого-либо общаго шаб-

лоннаго способа обдѣлки ключей—къ счастью можемъ сказать—оказывается невозможнымъ; каждый отдѣльный случай, какъ упомянуто выше, требуетъ тщательнаго изслѣдованія. Эти изслѣдованія съ своей стороны будутъ имѣть своимъ послѣдствіемъ дальнѣйшія уклоненія отъ существующихъ устройствъ. Прежде всего для каждаго даннаго случая поперечныя сѣченія отдѣльныхъ частей сооруженія: впускныхъ каналовъ, бассейновъ чистой воды, сливной и спускной трубы, отводной трубы и проч. должны соотвѣтствовать даннымъ условіямъ. При опредѣленіи этихъ размѣровъ необходимо принять въ разсчетъ не одну только наибольшую производительность, но, какъ указано выше, слѣдуетъ также имѣть въ виду возможность дальнѣйшаго расширенія сооруженія. Въ весьма значительной степени способъ выполненія сооруженія зависитъ отъ расположенія мѣста работъ, т. е. отъ того обстоятельства, могутъ ли быть получены требуемые строительные матеріалы на мѣстѣ работъ, или же должны быть доставлены изъ болѣе удаленныхъ мѣстъ и по затруднительнымъ дорогамъ. Затѣмъ еще немаловажную роль при проектированіи подобныхъ сооруженій играетъ относительная величина снабжаемой мѣстности и матеріальная состоятельность города, для котораго строится водопроводъ; во всякомъ случаѣ здѣсь лучшее никогда не можетъ быть врагомъ хорошаго.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ замѣтить, что во многихъ случаяхъ по желанію городскихъ представителей, а также и по желанію исполнителя работъ, обдѣлкѣ ключа придаютъ такъ называемый „архитектурный фасадъ“. Подобныя требованія обыкновенно объясняются тѣмъ, что наружная отдѣлка должна соотвѣтствовать положенію собственника сооруженія, что подобное важное сооруженіе должно отличаться и наружнымъ своимъ видомъ, и т. д. Въ подобныхъ случаяхъ рекомендуется для наружныхъ видимыхъ поверхностей употреблять тесовые камни, такъ какъ обыкновенная каменная кладка для этой цѣли обладаетъ многими недостатками, какъ мы объ этомъ замѣтили выше. Само собой разумѣется, что цѣлесообразность обдѣлки обыкновенно нисколько не увеличивается отъ подобной изящной внѣшности.

Примѣры обдѣлокъ горныхъ ключей.

I. Обдѣлка небольшихъ ключей.

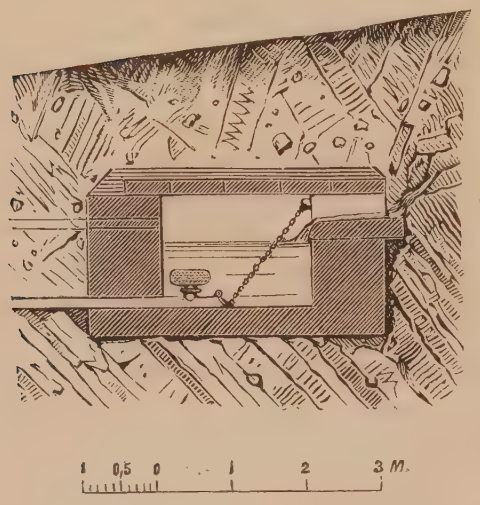
Если ключъ чистъ, такъ что выносъ песку и отложеніе ила въ бассейнѣ происходятъ въ небольшомъ количествѣ, то обдѣлка подобнаго ключа можетъ быть выполнена съ наименьшей затратой по изображенному на ф. 92 способу.

Предполагается, что обдѣлка ключа производится помимо какихъ-либо особыхъ работъ по его открытію или расширенію. Прежде всего ключевой каналъ слѣдуетъ тщательно очистить отъ всякой растительности и проч. Затѣмъ ключъ (ключевая вода) проводится поверхъ каменной плиты въ пріемникъ чистой воды ширин. около 0,7 метр. и длин. 1,8 до 2 метр. Этотъ бассейнъ устраивается водонепроницаемымъ и сверху покрывается каменнымъ или бетоннымъ потолкомъ, снабженнымъ сверху смазкой изъ суглинка или глины съ пескомъ для задержанія поступающихъ сверху инфильтрацій. По всей выемкѣ для водосбора насыпается крупный гравій или щебень, сзади котораго располагается болѣе мелкій песокъ, такъ что образуется песчаная запруда. Послѣ этой засыпки постепенно переходятъ къ засыпкѣ всего сооруженія, такъ что для устраненія попаданія неочищенныхъ инфильтрацій ключъ долженъ быть покрытъ слоемъ почвы толщиной по меньшей мѣрѣ 2,5 метр.

Проводъ къ снабжаемой мѣстности здѣсь соединенъ съ спускнымъ приспособленіемъ для опоражниванія бассейна въ томъ предположеніи, что при весьма рѣдкой чисткѣ бассейна это совмѣщеніе не вызоветъ никакихъ неудобствъ. Для чистки ключевой камеры она, ко-

нечно, должна быть отрыта. Провѣтриваніе въ достаточной степени производится по сливной трубѣ, показанной на чертежѣ пунктиромъ. Направленная вверхъ сѣтка на пріемной трубѣ устраняетъ всякое вліяніе осѣдающаго на дно камеры ила. Отверстіе для спуска воды закрывается клапаномъ съ цѣпнымъ подъемомъ.

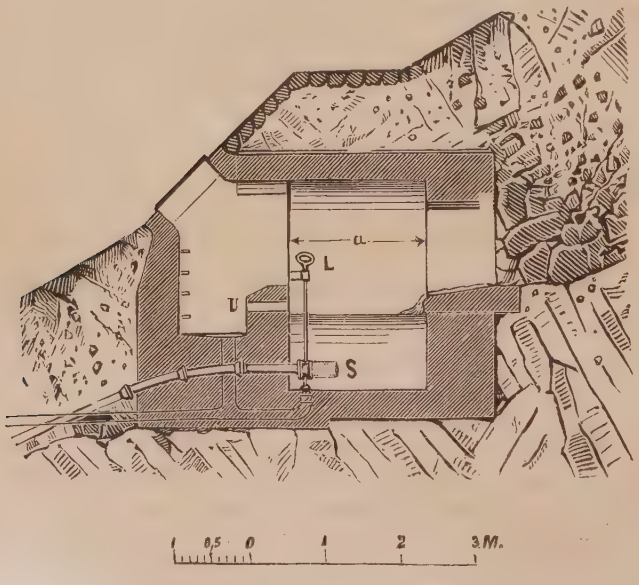
Подобныя сооруженія могутъ быть устроены за весьма недорогую цѣну.



Фиг. 92. Простѣйшая колодцевая камера

Болѣе совершенное обдѣлочное сооруженіе, во всѣхъ отношеніяхъ отвѣчающее приведеннымъ условіямъ, показано на фиг. 93. Здѣсь тоже помимо всякихъ работъ по расширенію ключа ключъ, начиная отъ истока, проведенъ въ уширенную спереди колодцевую камеру, при чемъ истокъ ключа во всякое время остается доступнымъ для осмотра.

Эта колодцевая камера выложена изъ камня, покрыта сводомъ и обсыпана землей. Доступъ въ камеру происходитъ черезъ наклонно расположенную боковую двустворчатую дверь, представляющую собой крышку шахты. Этотъ лазъ ведетъ въ переднюю смотровую шахту, изъ которой легко пройти въ бассейнъ и къ истоку ключа. Эта отдѣльная спускная шахта дренирована и служитъ для удержанія всякихъ наружныхъ загрязненій, поверхностной воды и проч.; въ этой шахтѣ расположенъ конецъ сливной трубы U ключеваго бассейна. Открывающійся съ порога спускной шахты, т. е. съ порога между этой шахтой и колодцевой камерой, спускной клапанъ L служитъ для спуска воды, опоражниванія и чистки; проводъ воды къ снабжаемой мѣстности производится по трубѣ, оканчивающейся въ камерѣ сѣткой S. Сливная и спускная трубы проведены въ одну общую трубу снаружи. Между передней шахтой и колодцевой камерой можетъ быть устроена вторая дверь, если это окажется необходимымъ для предохраненія отъ жары и мороза. Провѣтриваніе камеры производится въ достаточной степени черезъ опускную дверку (крышку лаза).



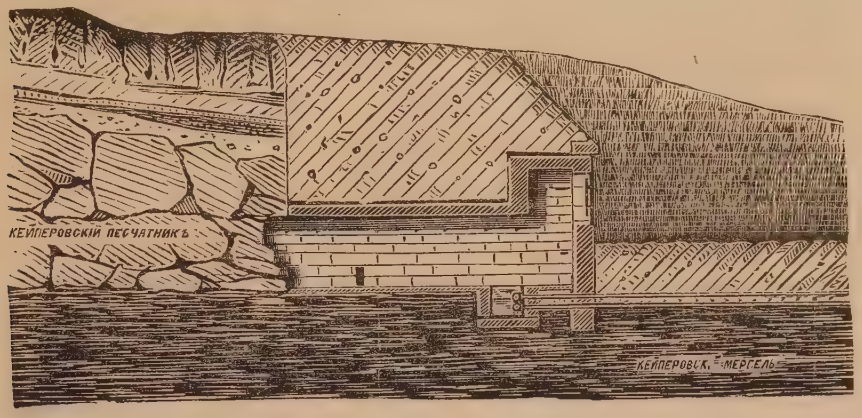
Фиг. 93. Простая колодцевая камера.

Если ключевая вода, несмотря на то, что истокъ изъ ключа происходитъ черезъ щель съ устроенной спереди песчаной запрудой, несетъ съ собой песокъ, то увеличеніемъ размѣра бассейна послѣдній можетъ быть превращенъ въ осадочный бассейнъ для осажденія песку.

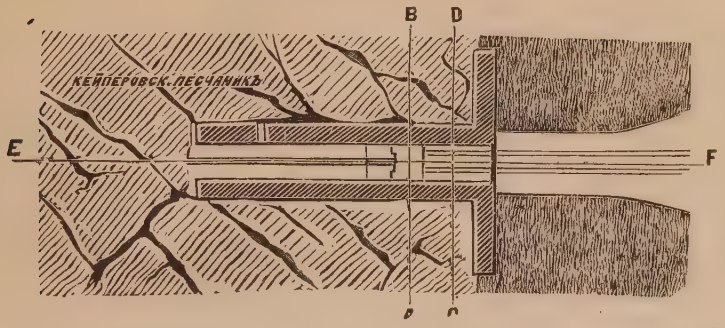
Предполагается, что колодцевая камера можетъ быть нѣсколько опущена въ непроницаемый подстилающій пластъ. Если же мѣстныя условія не допускаютъ подобнаго углубленія камеры, то вода изъ ключа собирается и поступаетъ въ трубу или каналъ; въ этомъ случаѣ колодцевая камера покрывается добавочной насыпью для достиженія требуемаго перекрытія.

Небольшія обдѣлки ключей у подножія крутыхъ склоновъ, при которыхъ вода собирается помощью короткихъ штоленъ или выемокъ въ скалахъ по изображеннымъ на фиг. 95—97 типамъ примѣнены при водоснабженіи г. Штутт-

Продольный разрѣзъ.



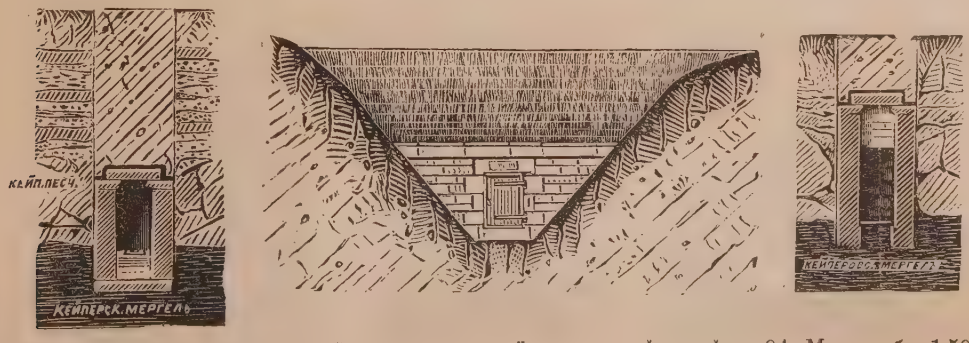
Горизонтальный разрѣзъ.



Фиг. 94. Обдѣлка ключа въ Ельзенталѣ при Штуттгартѣ. Масштабъ 1:150.

гарта. Эти сооруженія построены весьма тщательно и содержатся въ полной исправности, получая воду изъ такъ называемыхъ кейперскихъ пестрыхъ песчаниковъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ они покрыты непроницаемыми мергелями.

Разрѣзъ A B. Наружный видъ. Разрѣзъ C D.

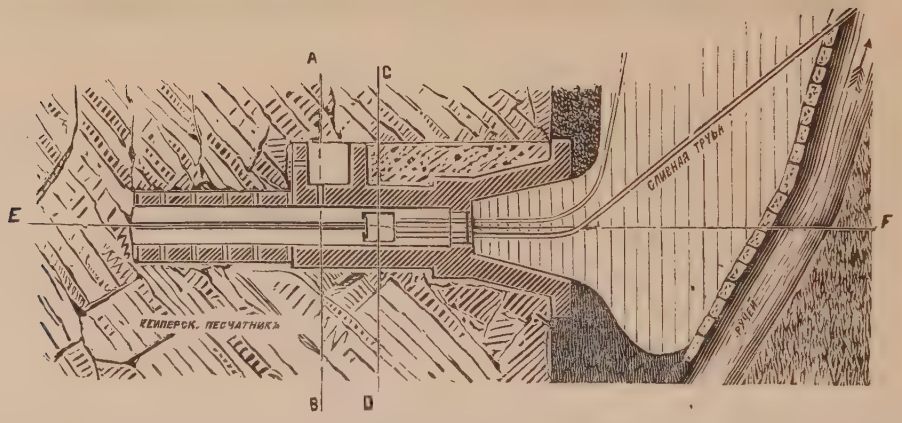


Фиг. 95. Поперечный разрѣзъ и наружный видъ отдѣлки фиг. 94. Масштабъ 1:50.

На фиг. 94 изображена въ продольномъ и горизонтальномъ разрѣзѣ подобная обдѣлка, при которой стѣнка скалы срѣзана выемкой; обдѣланный ключъ лежитъ въ Эльзенталѣ.

На всемъ протяженіи выемки въ налегающихъ пластахъ она снабжена откосами; въ скалахъ стѣнки остаются въ вертикальномъ положеніи. Ключи выступаютъ надъ непроницаемымъ слоемъ, и вода изъ нихъ по выемкѣ направляется въ каменную галлерею высотою

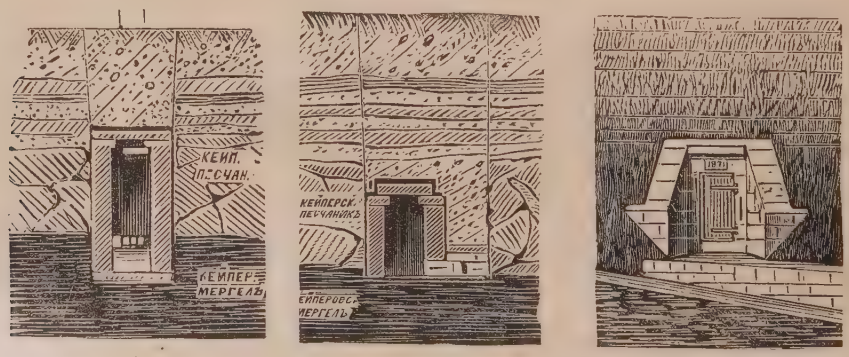
Продольный разрѣзъ.



Фиг. 96. Обдѣлка ключа въ Гейдельклинге при Штуттгартѣ. Масштабъ 1:150.

1,5 метр. и по каменнымъ желобамъ проводится въ бассейнъ чистой воды, устроенный на разстояніи 1,0 метр. за передней внѣшней стѣнкой. Въ этомъ бассейнѣ расположены сливная и пріемная трубы, обѣ снабженныя сѣтками; приспособленія для опоражниванія бассейна

Разрѣзъ A B. Наружный видъ. Разрѣзъ A D.



Фиг. 97. Поперечные разрѣзы и наружный видъ обдѣлки фиг. 96. Масштабъ 1:150.

не устроено, такъ какъ поступающая въ него ключевая вода не несетъ съ собой никакихъ осѣдающихъ веществъ, и необходимая временами очистка малаго бассейна легко можетъ быть

произведена ручной работой. Въ этомъ случаѣ рабочій снимаетъ сѣтку съ пріемной трубы, которую замыкаетъ деревянной пробкой, и мутящуюся во время чистки воду спускаетъ черезъ сливную трубу. Когда послѣ произведенной очистки вода опять станетъ прозрачной, пробка изъ трубы вынимается и опять надѣвается сѣтка.

Доступъ къ камерѣ происходитъ черезъ желѣзную съ двойными стѣнками дверь по желѣзнымъ скобамъ или стремянкамъ, задѣланнымъ въ боковой стѣнѣ передняго помѣщенія. Порогъ двери расположенъ на 40 сантим. выше дорожки въ выемкѣ, такъ что притоки дождевой воды и проч. совершенно задерживаются. Черезъ эту дверь происходитъ также вентиляція сооруженія.

На фиг. 95 изображены 2 поперечныхъ разрѣза (соотвѣтственно по указаннымъ на планѣ фиг. 94 линіямъ AB и CD) и общій наружный видъ этой камеры. Поперечные разрѣзы изображаютъ покрытія галлерей каменными плитами. Надъ этими каменными плитами имѣется смазка изъ гидравлическаго раствора для предупрежденія проникания въ галлерею посторонних инфильтрацій.

Камера снаружи облицована чисто отдѣланнымъ тесовымъ камнемъ; карнизная плита отдѣляетъ эту облицованную поверхность отъ расположеннаго надъ ней откоса.

На фиг. 96 изображена колодцевая камера въ Гейденклингѣ (близъ Штуттгарта) по дорогѣ отъ Геслахъ къ Солитюдъ; здѣсь обдѣлка ключа произведена помощью короткой штольни въ одинаковой съ прежнею формаціи. Непроницаемый мергельный слой здѣсь расположенъ приблизительно на одинаковой высотѣ со входами въ камеру и вымытъ недалеко отъ ключа протекающимъ ручьемъ.

Въ остальномъ устройство одинаково съ вышеописанной обдѣлкой; но здѣсь можно проникнуть въ бассейнъ чистой воды и въ штольню безъ помощи желѣзныхъ стремянокъ. Такъ какъ ключи притекаютъ во многихъ мѣстахъ изъ трещинъ, то число впускныхъ щелей здѣсь довольно значительно; здѣсь также устроена боковая обдѣлка, показанная въ планѣ, а также и въ разрѣзѣ AB на фиг. 97. Пріемная труба тотчасъ же послѣ выхода изъ кладки бассейна изогнута книзу для возможно быстраго достиженія той глубины, при которой она не замерзаетъ зимой. Для предупрежденія размыванія высокими водами, со стороны ручья устроена каменная стѣнка.

Вся наружная каменная кладка колодцевой камеры состоитъ изъ тесанаго песчаника.

Проектированная и построенная авторомъ обдѣлка ключей для водоснабженія города Лара *) (въ Баденѣ) также состоитъ изъ колодцевой камеры и примыкающей къ ней водосборной штольни длин. 20 метр. и произведена въ пестромъ песчаникѣ. Такъ какъ особыя условія напластованія горныхъ породъ и мѣстныя обстоятельства могутъ представлять собой нѣкоторый интересъ для подобныхъ сооруженій, то считаемъ нелишнимъ привести здѣсь болѣе подробное описаніе этого сооруженія.

Геогностическія условія, при которыхъ находятся ключи въ Гиссенталѣ при Ларѣ изслѣдованы профессоромъ Эккомъ (въ Штуттгартѣ); изъ сообщеннаго имъ описанія и карты заимствуемъ приведенный здѣсь (на фиг. 98) общій видъ Гиссентальскихъ ключей.

Слой пестраго песчаника вообще направленъ съ сѣверо-востока къ юго-западу, но подъ различными углами паденія, которые мѣстами измѣнены подъ вліяніемъ мѣстныхъ нарушеній. Съ юга и запада подножіе всей области пестраго песчаника покрыто обширной почти водонепроницаемой покрышкой изъ леса и глины, которой прежде всего должно быть приписано появленіе многихъ выступающихъ въ этой области ключей. Во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ эта покрышка углублена размывомъ или прервана выемкой, слѣдующія по уклону слоя пестраго песчаника грунтовыя воды изливаются въ видѣ ключей.

Но для появленія Гиссентальскихъ ключей весьма важны еще особыя свойства области. Здѣсь именно имѣетъ мѣсто случай, когда топографическая область осадковъ вслѣдствіе особаго напластованія новаго краснаго песчаника значительно отличается отъ служащей для питанія ключей области инфильтрацій.

Толстая черная черта на фиг. 98 означаетъ проходящую черезъ всю область линію сдвига породы; съ востока отъ нея верхніе красные песчаники расположены гораздо выше,

*) Lueger, O. Die Wasserversorgung der Stadt Lahr. Cahr. 1884.

чѣмъ съ запада. На всемъ протяженіи, на которомъ эта порода расположена выше обдѣлки ключей въ Гиссенталѣ (см. фиг. 98), находящаяся непосредственно подъ пестрымъ песчаникомъ разграничивающая поверхность новыхъ красныхъ песчаниковъ обозначена на чертежѣ горизонтальной штриховкой. Упомянутая здѣсь разграничивающая поверхность построена по

Сѣверъ.

Югъ.

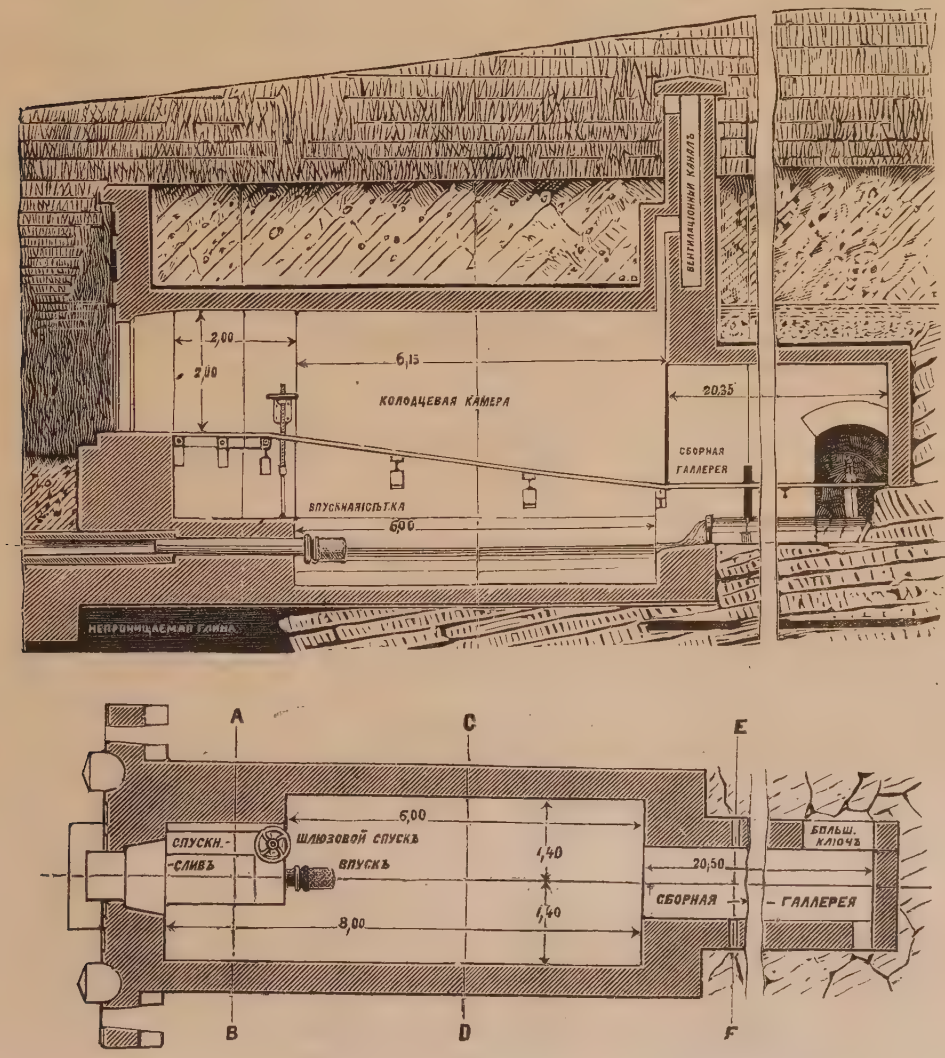
Фиг. 98. Геогностическія условія Гиссентальскихъ ключей при Ларѣ.

Масштабъ 1 : 35000.

Кривыя высотъ расположены на вертикальномъ другъ отъ друга разстояніи въ 10 метр.; числа отнесены къ нулю — уровню моря.

тремъ точкамъ, изъ которыхъ двѣ расположены въ Дирсбургской долинѣ, а одна въ Рейхенбахской долинѣ; опредѣленный этими точками треугольникъ, на которомъ основывается это построеніе, изображенъ на фиг. 98 пунктирными линіями, пересѣкающими штрихи разграничивающей плоскости.

Заштрихованныя косой штриховкой плоскости на фиг. 98 изображаютъ топографическую область осадковъ; по измѣренію она въ круглыхъ числахъ составляетъ 307 гектаровъ. Но такъ какъ слой верхнихъ красныхъ песчаниковъ въ данномъ случаѣ можетъ быть разсматриваемъ какъ непроницаемый слой, то линія, соотвѣтствующая паденію пограничнаго слоя и проходящая черезъ ключи долины Гиссенъ, отдѣляетъ ту часть непроницаемаго слоя, на которой инфильтраціи служатъ еще для питанія этихъ ключей, отъ другой части, въ которой грунтовая вода уносится дальше на югъ. Питающая область инфильтрацій, т. е. вся заштрихованная плоскость (фиг. 98), отъ прибавки упомянутой области увеличивается на 686 гектаровъ, т. е. больше чѣмъ на двойную топографическую область осадковъ.

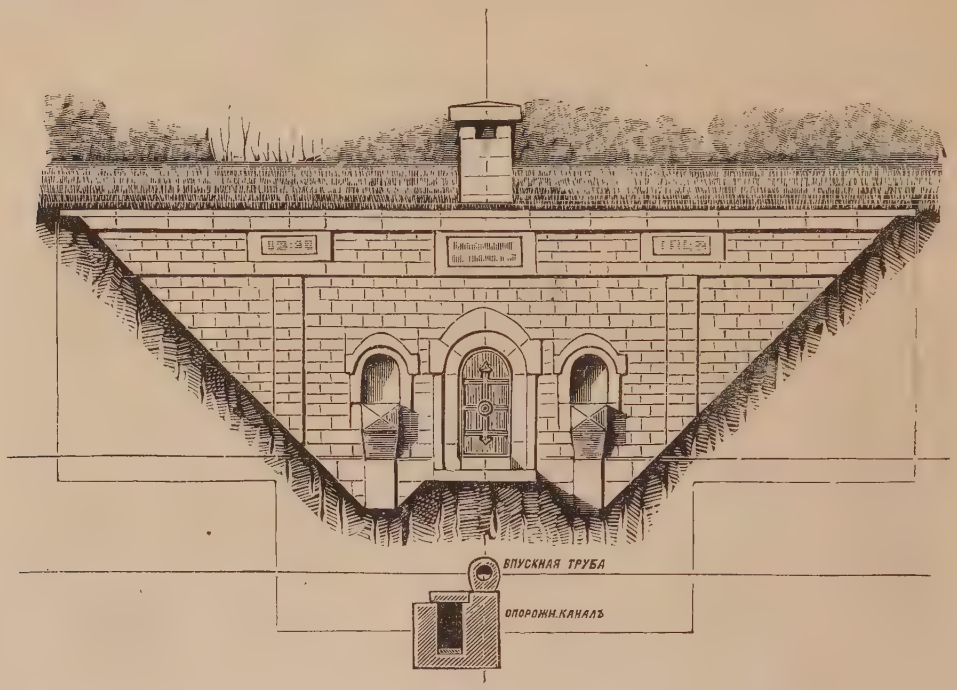


Фиг. 99. Обдѣлка ключей города Лара. Масштабъ 1 : 225.

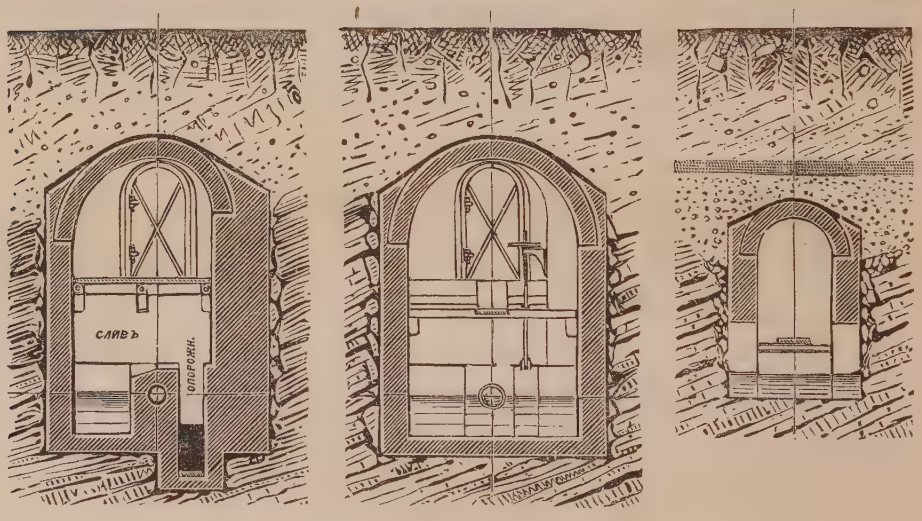
Соотвѣтственно съ этимъ получается и общая производительность ключей въ Гиссенской долинѣ, которые доставляютъ гораздо больше воды, нежели это соотвѣтствуетъ топографической области осадковъ при нормальныхъ условіяхъ, а именно около 26 литр. въ секунду, между тѣмъ какъ при весьма проницаемой почвѣ въ лѣсной области (по Лаутербургу) получается отъ 2,8 до 4,5 литр. въ секунду на каждый квадр. километръ (см. отд. I, гл. 6), т. е. въ данномъ случаѣ получилось бы 8,6 до 13,8 литр. въ секунду.

Городу Лару были доступны только нижніе Гиссенскіе ключи, дававшіе до обдѣлки около 5 литр. въ секунду; на 50 метр. выше ихъ начала находится другой ключъ, принадлежащій общинѣ Рейхенбахъ и имѣющій производительность около 8 литр. въ секунду. Этотъ

послѣдній ключъ (извѣстный подъ названіемъ Клебрунненъ) нельзя было пріобрѣсть ни за какую цѣну, но такъ какъ онъ съ давнихъ временъ служилъ только для расположенной ниже и пріобрѣтенной городомъ Ларомъ земли, то онъ могъ быть откопанъ настолько, насколько это было достижимо на собственной землѣ города Лара.



Разрѣзъ A B. Разрѣзъ C D. Разрѣзъ E F.



Фиг. 100. Масштабъ 1 : 125.

Этимъ и обусловилась задача объ обдѣлкѣ ключа. Необходимо было сообщить Клебруннену такое направленіе, при которомъ онъ могъ бы выступить на принадлежащей городу Лару землѣ, и затѣмъ соединить его съ нижнимъ ключемъ. Эта цѣль была достигнута слѣдующими пріемами.

Сперва была проведена выемка по линіи, соединяющей оба ключа. Подошва выемки была расположена на 1,5 метр. глубже истока нижняго ключа и пришлась такимъ образомъ на 0,5 метр. надъ обнаженной поверхностью песчаниковой скалы. При проведеніи выемки

обнаружилось постепенное уменьшеніе Рейхенбахскаго ключа; послѣ достиженія выемкой длины въ 30 метр. ключъ въ начальномъ своемъ истокѣ исчезъ и выступилъ въ видѣ весьма обильнаго ключа въ концѣ выемки. Изъ обдѣлки вытекало 13 литр. въ секунду.

Съ проведеніемъ выемки обнаружилось отступленіе назадъ отдѣльныхъ, исходящихъ изъ трещины ключей; на длинѣ въ 20 метр. ихъ можно было провести въ одну общую галлерею и всю обдѣлку ключей заложить въ скалистомъ материкѣ. Способъ выполненія этихъ работъ показанъ на фиг. 99 и 100; фиг. 99 изображаетъ планъ и продольный разрѣзъ обдѣлочного сооруженіл, а фиг. 100 — фасадъ и 3 поперечныхъ разрѣза по показаннымъ на фиг. 100 линіямъ AB, CD и EF, изъ которыхъ разрѣзы AB и CD проведены черезъ колодцевую камеру, а EF—черезъ сборную галлерею.

Особое условіе въ разсматриваемомъ случаѣ состояло въ установкѣ задерживающаго приспособленія для песку, такъ какъ ключи, преимущественно первое время, послѣ ихъ углубленія, выносили значительныя количества песку.

Въ мѣстахъ входа ключевой воды въ сборную галлерею послѣдняя снабжена щелями (какъ на разрѣзѣ EF фиг. 100) или нишами (какъ въ концѣ галлереи на фиг. 99) Подошва галлереи служитъ исключительно для стока воды; предъ входомъ воды въ колодцевую камеру устроено измѣрительное приспособленіе (водосливъ Понселе), дающее въ галлереѣ подпоръ воды въ 0,4—0,5 метр. Нормальный уровень воды въ камерѣ расположенъ на одной высотѣ съ днемъ галлереи, а дно камеры или бассейна расположено на 0,70 метр. глубже. Пріемная труба разсчитана для прохода 30 литр. въ секунду. Для опоражниванія камеры служитъ спускной каналъ прямоугольнаго сѣченія (см. разрѣзъ AB фиг. 100). При входѣ въ камеру расположены: пріемная труба, сливное и спускное приспособленіе; послѣднее можетъ быть приведено въ дѣйствіе съ площадки. Спускная задвижка клинообразной формы, входящая въ бронзовое гнѣздо, открываетъ и закрываетъ спускъ воды, поднимаясь вверхъ и внизъ помощью соединеннаго съ ней мѣднаго винта, входящаго въ неподвижную муфту, вращающуюся отъ ручнаго маховичка. Въ теченіе нѣсколькихъ минутъ камера можетъ быть опорожнена по спускному каналу шир. 40 сантим., причемъ достигается весьма энергичная промывка всего спускного желоба или канала. Снабженная сѣткой пріемная труба діам. въ свѣту 25 сантим. расположена въ стѣнѣ, отдѣляющей спускной каналъ отъ бассейна; часть стѣны, окружающая трубу, сдѣлана изъ тесаныхъ камней и образуетъ собой водосливъ, какъ видно на разрѣзѣ AB фиг. 100.

Для того, чтобы способствовать осажденію песку въ камерѣ, послѣдняя имѣетъ длину 8 и шир. 2,8 метр., такъ что при притокѣ 13 литр. въ секунду средняя скорость воды въ сѣченіи бассейна составляетъ только 0,0006 метр. Опытъ показалъ, что при подобной скорости даже мельчайшія песчинки осѣдаютъ на первыхъ 5 метрахъ отъ устья галлереи.

Доступъ снаружи въ камеру происходитъ черезъ дверь съ двойными стѣнками, промежутокъ между которыми заполненъ шлаковой шерстью (искусственныя волокна, изготовлявшіяся изъ шлаковъ); дверь ведетъ на площадку длин. 1,5 метр., идущую по всей ширинѣ камеры и расположенную на уровнѣ дверного порога; отъ этой площадки идутъ дубовые мостки, расположенные на желѣзныхъ балкахъ и образующіе входъ въ галлерею. На всемъ наклонномъ протяженіи мостковъ они снабжены прибитыми къ нимъ поперечными планками для предупрежденія скольженія при проходѣ.

Для вентиляціи камеры и галлереи служитъ вытяжная труба, устройство и расположеніе которой показаны на продольномъ разрѣзѣ (фиг. 99). Все сооруженіе защищено земляной насыпью высотой 2 до 3,5 метр. отъ вліянія наружной температуры и отъ попаданія поверхностной воды. Стѣны галлереи и камеры въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онѣ не упираются въ скалу, плотно обсыпаны и утрамбованы. Обсыпка сдѣлана снизу болѣе крупнымъ щебнемъ и гравіемъ, а кверху — постепенно болѣе мелкимъ, и вся она на всемъ протяженіи сооруженія покрыта горизонтальнымъ слоемъ рѣчнаго песку на высоту 0,60 метр., считая отъ замка свода галлереи (разрѣзъ EF, фиг. 100). Надъ этимъ пескомъ укладывается и утрамбовывается чистый суглинокъ (отъ вырытыхъ для работы рвовъ) слоями по 15 сант.

Камера цѣликомъ устроена въ естественномъ твердомъ слоѣ глины, а на днѣ ея, равно какъ и на днѣ галлереи, обнаруживается песчаниковая скала; эти обстоятельства допускаютъ сравнительно незначительную толщину каменной кладки. Послѣдняя вся состоитъ изъ бутоваго камня, сложеннаго на цементномъ растворѣ. По желанію города Лара камера имѣетъ фасадъ изъ тесанаго камня, какъ показано на фиг. 100; справа и слѣва отъ входныхъ дверей расположены 2 ниши, могущія служить для склада инструментовъ и проч.,

и вообще служащія для нарушенія однообразія фасада. Все сооруженіе для лучшаго его осмотра можетъ быть освѣщено 10 бронзовыми подсвѣчниками, расположенными въ видѣ стѣнныхъ кронштейновъ.

Въ заключеніе замѣтимъ здѣсь, что количество даваемой ключемъ воды въ теченіе года уклоняется только на нѣсколько процентовъ отъ нормальной своей производительности 13 литр. въ секунду. Это объясняется значительнымъ подпочвеннымъ резервуаромъ, который въ данномъ случаѣ легко вычислить, опредѣливши объемъ массы песчаника, лежащаго надъ краснымъ песчаникомъ къ востоку отъ линіи сдвига, и то пространство, которое въ этой массѣ можетъ быть заполнено водой.

2. Водосборныя сооруженія большихъ ключей.

Изъ большихъ обдѣлочныхъ сооруженій опишемъ здѣсь прежде всего устроенное по проекту автора сборное сооруженіе въ Баденъ-Баденѣ. Необходимо здѣсь замѣтить, что въ Баденѣ существуетъ троякое водоснабженіе: такъ называемый акціонерный водопроводъ, который получаетъ воду частью изъ ключей при Фремерсбергѣ и частью изъ р. Оосъ при Лехтенталѣ и который нѣсколько лѣтъ тому назадъ выкупленъ городомъ; затѣмъ водопроводъ, принадлежащій великогерцогской казнѣ и снабжающій водой казенныя ванны, и наконецъ новый городской водопроводъ, описываемый нами ниже. Фремерсбергскій и казенный водопроводы послѣ продолжительныхъ дождей даютъ мутную воду; вода же изъ новаго городского водопровода, наоборотъ, во всякое время бываетъ прозрачна и чиста и поэтому въ послѣднее время служитъ и для казенныхъ ваннъ.

Въ 1876 г. городу Бадену предстояло рѣшить вопросъ о томъ, желательно ли устроить водоснабженіе грунтовой водой изъ долины р. Оосъ, или же ключевой водой изъ Баденскаго городского лѣса; рѣшеніе состоялось въ пользу проекта послѣдняго рода водоснабженія, хотя болѣе дорогого, такъ какъ было доказано, что ключи въ городскомъ лѣсу даютъ вполнѣ доста точныя во всякое время количества воды, и что эта вода по своимъ качествамъ должна быть предпочтена предъ всѣми другими.

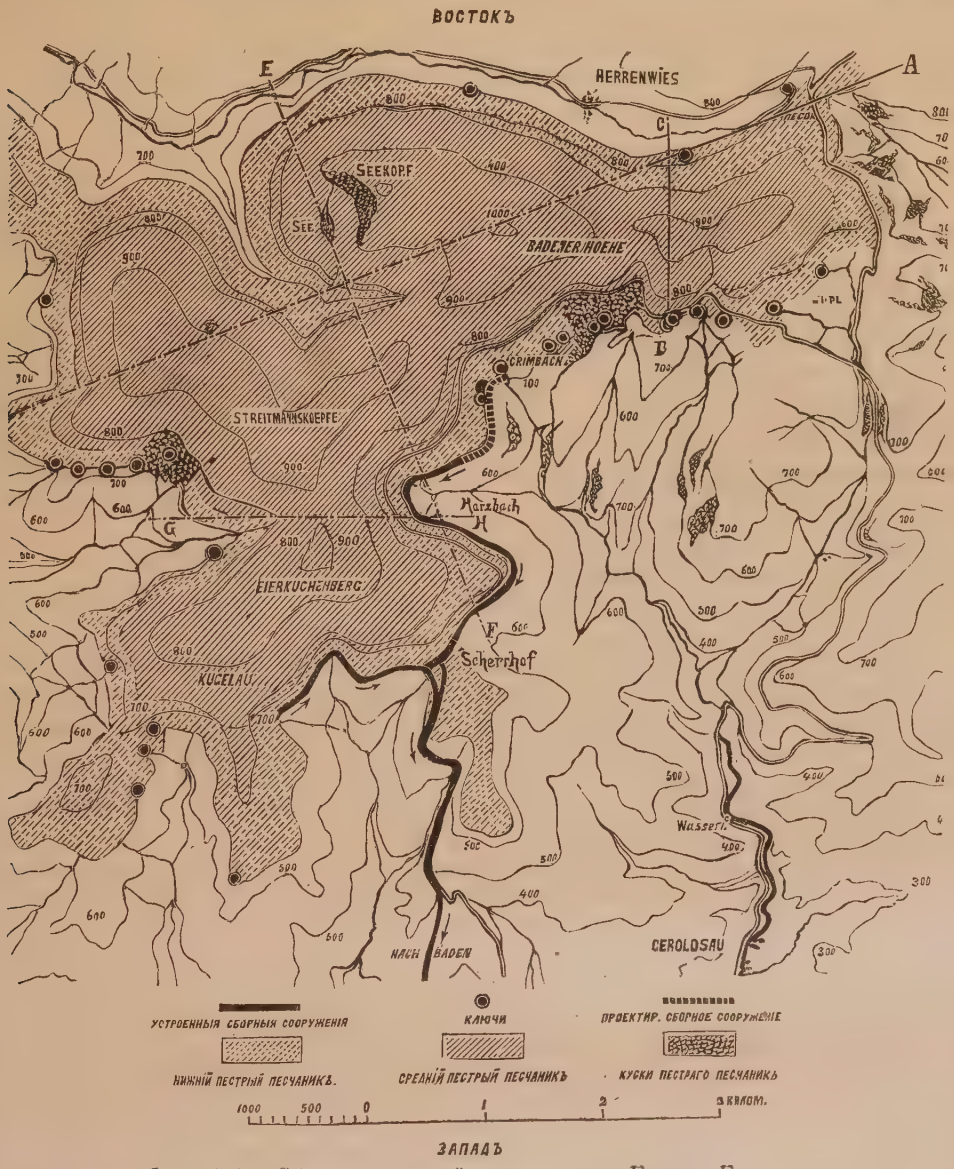
Составленное въ 1885 г. д-ромъ Эккомъ геогностическое описаніе области ключей показываетъ, что основная горная порода области этихъ ключей принадлежитъ къ сѣверному гранитному массиву Шварцвальда; эта порода перестилается пестрымъ песчаникомъ, покрытымъ на плоскогоріяхъ Баденскихъ высотъ, Зеекопфѣ и Штрейтманнскопфѣ, торфяными отложеніями незначительной мощности. Пестрый песчаникъ здѣсь расчлененъ на нижній и средній; верхній пестрый песчаникъ въ разсчетъ не можетъ быть принятъ. На фиг. 101 показаны условія напластованія, при чемъ числа у горизонталей означаютъ соотвѣтственныя высоты надъ уровнемъ моря. Профили по линіямъ AB и EF (фиг. 101), которыя легко вычертить *) указываютъ направленіе поверхности гранитнаго массива; по линіи гребня оно почти совпадаетъ съ направленіемъ линіи AB, нѣсколько уклоняясь отъ нея въ мѣстности къ сѣверо-востоку отъ Занда. Вообще на сѣверѣ этой линіи гребня паденіе раздѣльной поверхности между гранитомъ и пестрымъ песчаникомъ направлено къ сѣверо-сѣверо-западу; во всякомъ случаѣ, эта раздѣльная поверхность не представляетъ собой плоскости, такъ какъ она не составляетъ плоскости раздѣла между двумя равномѣрно налегающими другъ надъ другомъ пластами, а есть ничто иное, какъ поверхность раздѣла между вулканической породой и осадочной. Профили по линіямъ CD и GH еще болѣе выясняютъ эти условія.

Граниты области ключей малопроницаемы для воды, между тѣмъ какъ пестрый песчаникъ легко проницаемъ. Вслѣдствіе этихъ свойствъ породъ въ раскрытыхъ мѣстахъ раздѣла породъ появляются ключи или водяныя струи. Эти ключи, не включенные еще въ сборныя сооруженія, показаны на фиг. 101. При устройствѣ водосбора эти ключи обдѣланы или каждый въ отдѣльности, или же, гдѣ они расположены рядомъ, собраны въ одну общую

*) Эти профили здѣсь не помѣщены.

галлерею; послѣдній способъ нашелъ себѣ примѣненіе въ болѣе старой части сооруженія отъ Шерскаго обрыва до Кугелау, а первый способъ примѣненъ къ такъ называемымъ Гарцбахскимъ ключамъ.

Сборныя галлереи Шерскаго обрыва и Кугелау имѣютъ общую длину около 1200 метр. и соединены между собой промежуточными проводами длиной около 800 метр. Помимо собственно ключей этой области, были отрѣзаны только отдѣльныя, расположенныя длинными



Фиг. 101. Сборъ ключевой воды города Баденъ-Бадена.
Общія и геогностическія условія.

рядами водяныя струи, главнымъ образомъ для избѣжанія отвѣтственности по иску, предъявленному Лихтентальской общиной *). Галлереи имѣютъ шир. 0,7 и выс. 1,6 метр., и показаны въ поперечномъ сѣченіи на фиг. 102 подъ обозначеніемъ „поперечнаго сѣченія штольни". Во всякомъ отдѣльномъ пунктѣ, гдѣ выступаетъ болѣе или менѣе сильный ключъ, въ южной стѣнѣ галлереи устроена ниша, а служащая для сбора ключевой воды цементная труба окан-

*) Экспертиза по этому процессу показала, что сборныя работы, произведенныя городомъ Баденомъ, не принесли вреда ключамъ р. Оосъ.

чивается въ этой нишѣ. Болѣе мелкіе ключи собираются въ гончарныя трубы, уложенныя вдоль южной стѣны галлереи и отводящія воду къ ближайшей нишѣ. Подошва сборной галлереи совершенно независима отъ собственно ключевой обдѣлки и устроена такъ, что стекающая каплями въ самой галлереѣ вода направляется по подошвѣ ея къ входнымъ камерамъ, изъ которыхъ она стекаетъ по спускнымъ трубамъ, нигдѣ не соединяясь съ текущей по галлереѣ ключевой водой. Для достиженія подобной же изоляціи въ самихъ нишахъ, въ каждой изъ нихъ располагается соединенный съ подошвой и стѣной галлереи чугунный угольникъ, препятствующій водѣ изъ галлереи попадать въ каналъ чистой воды и допускающій достаточный проходъ для воды изъ ключа. Кладка стѣнъ галлерей произведена насухо съ правильной перевязкой швовъ; подошва и стѣны на высоту 20 сант. отъ подошвы отштукатурены цементомъ.

Фиг. 102. Обдѣлка ключей гор. Баденъ-Бадена.
Сборныя сооруженія Шерскаго обрыва и Кугелау.
Масштабъ 1 : 150.

Такъ какъ водосборныя трубы всегда должны слѣдовать за направленіемъ раздѣльной поверхности между породами, которая вообще не имѣетъ правильнаго направленія, то въ продольной профили сборнаго сооруженія необходимо должны существовать переходы (отъ одного паденія къ другому), между которыми, понятно, внутренній размѣръ сборныхъ трубъ измѣняется; во всѣхъ мѣстахъ подобныхъ переходовъ расположены смотровыя камеры съ небольшими промежуточными бассейнами, помощью которыхъ происходитъ переходъ отъ участка съ однимъ паденіемъ къ участку съ другимъ паденіемъ.

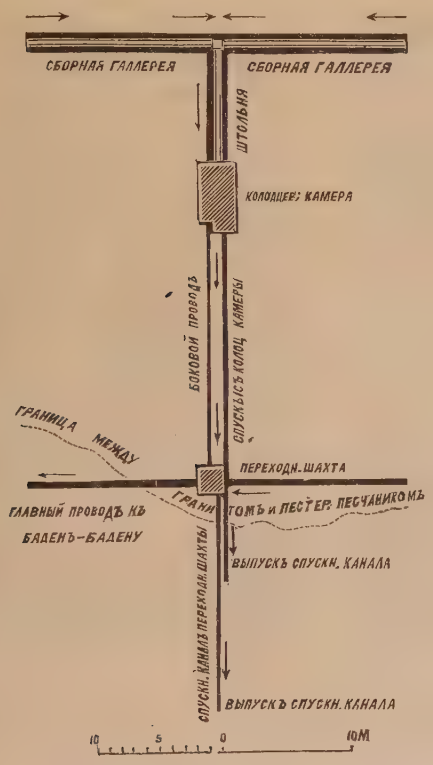
Эти смотровыя камеры изображены на фиг. 102 съ правой и лѣвой стороны поперечнаго сѣченія галлереи; съ правой стороны изображенъ продольный разрѣзъ подобной камеры при переходѣ какого-либо участка галлереи въ сомкнутый проводъ, а съ лѣвой стороны изображенъ поперечный разрѣзъ черезъ ось камеры. Доставляя удобный доступъ въ сборную галлерею, эти камеры служатъ также и для вентиляціи послѣдней. На уровнѣ верхняго края нижней сточной трубы въ каждой камерѣ расположенъ водосливъ для бассейна; спускной каналъ для опоражниванія отдѣленъ отъ бассейна помощью задвижки и оканчивается въ лѣсу. Въ этотъ же каналъ сливаются всѣ протекающія по подошвѣ галлереи воды; для этой цѣли въ передней части камеры устроено сливное отверстіе. Регулированіе задвижки можетъ быть произведено въ самой камерѣ помощью ручного маховичка, такъ что чистка бассейна удобно можетъ быть произведена во всякое время; шпиндель или винтъ задвижки и гнѣзда ея сдѣланы изъ бронзы. Каждая камера снабжена двойной запирающейся дверью и вентилируется помощью устроенной надъ дверью розетки; вытяжки дѣйствуютъ одновременно во всемъ сборномъ сооруженіи и постоянно поддерживаютъ чистоту воздуха въ галлереяхъ. Своды вездѣ покрыты изолирующими слоями, чѣмъ окончательно устраняется просачиваніе воды въ галлереи сверху. Наибольшая длина участка галлереи между двумя сосѣдними входами составляетъ около 200 метр. Ко входамъ въ камеры, подошвы которыхъ расположены на 6—8 метр. ниже поверхности земли, снаружи ведетъ устроенная въ скалѣ выемка съ вымощенной подошвой, гдѣ расположена и спускная труба для опоражниванія камеръ.

Весьма немного только небольшихъ участковъ всего сборнаго сооруженія не выложено изъ камня; кромѣ входныхъ камеръ, устроенныхъ въ мѣстахъ измѣненія паденій галлерей,

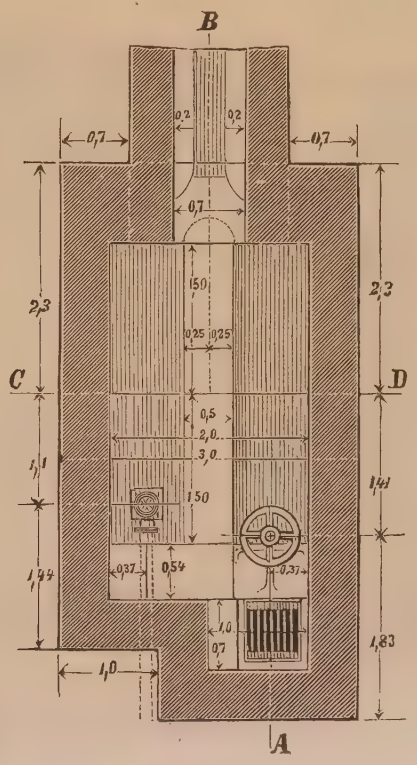
какъ упомянуто выше, имѣются еще другія шахты, которыя частью служили для доставленія матеріаловъ во время постройки, а частью служатъ спускными шахтами въ предѣлахъ участка съ одинаковымъ паденіемъ, если длина его больше 300 метр.

Камера, въ которой начинается проводъ воды въ Баденъ, а также и та, въ которую поступаютъ Гарцбахскіе ключи, по своей конструкціи немногимъ отличаются отъ изображенной на фиг. 102; при этомъ первая изъ нихъ снабжена водоизмѣрительнымъ приспособленіемъ въ видѣ водослива.

Само собой разумѣется, что во всѣхъ камерахъ предъ выпускными трубами расположены сѣтки для задержанія различныхъ плавающихъ предметовъ, сами камеры выложены изъ дикаго камня на гидравлическомъ растворѣ, а съ переднихъ сторонъ онѣ облицованы тесанымъ камнемъ. Общая длина всѣхъ водосборныхъ сооруженій—галлерей вмѣстѣ съ промежуточными проводами—составляетъ приблизительно 2 километра.



Фиг. 103. Расположеніе ключеваго сбора.



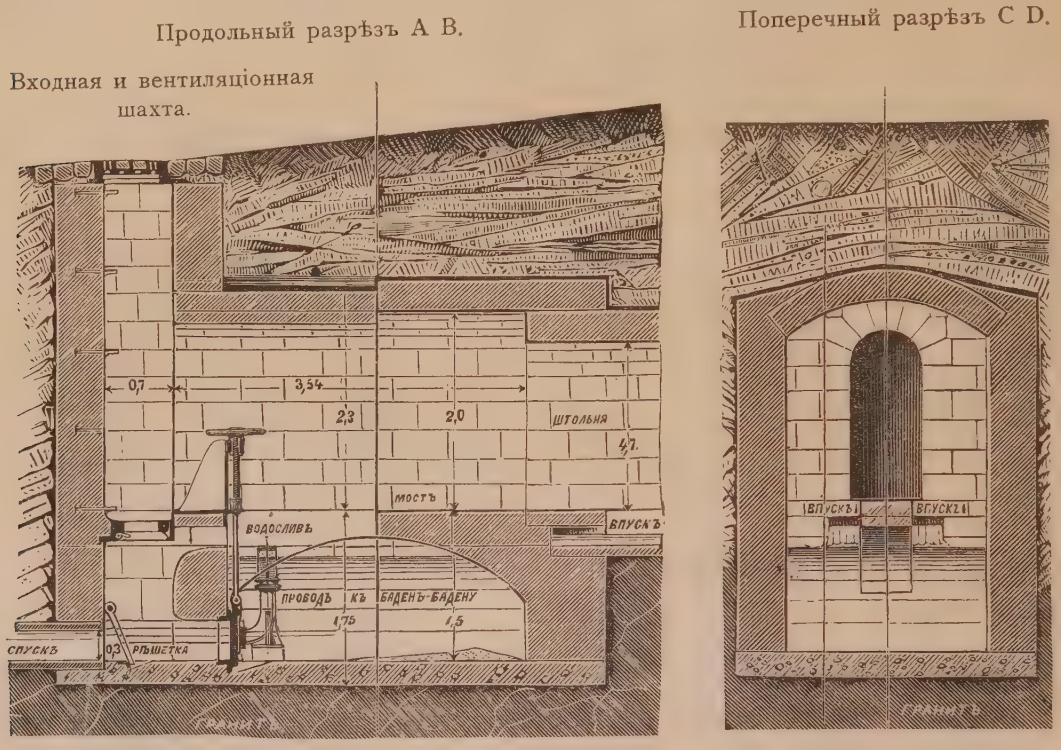
Фиг. 104. Гориз. разрѣзъ колодц. камеры Масштабъ 1:75 натур. велич.

Проводъ отъ обдѣланныхъ впослѣдствіи Гарцбахскихъ ключей впадаетъ въ предпослѣднюю камеру сборнаго сооруженія на Шерскомъ обрывѣ. Отъ сбора водяныхъ струй, появляющихся въ видѣ подпочвенной воды на этомъ протяженіи, можно было отказаться ввиду того, что до Плэттига имѣется въ распоряженіи вполнѣ достаточное во всякое время количество воды изъ отдѣльныхъ ключей, и во время устройства Гарцбахскихъ сооруженій всякія затрудненія относительно непосредственнаго пользованія этими ключами были окончательно устранены. Само собой разумѣется, что въ то время гораздо дешевле было устроить рядъ отдѣльныхъ водосборовъ и провести изъ нихъ воду въ трубахъ, нежели соорудить галлерею такимъ путемъ, какъ это сдѣлано на Шерскомъ обрывѣ.

Такъ какъ здѣсь невозможно описать устроенныя отдѣльныя обдѣлки этихъ ключей, то мы здѣсь укажемъ только принципъ, на которомъ основано устройство этихъ сооруженій, и опишемъ колодцевую камеру, одинаковую для всѣхъ обдѣлокъ.

Ключи выходятъ частью изъ отлогихъ и частью изъ крутыхъ склоновъ. Такъ какъ на отлогихъ склонахъ обдѣлка ключей оказалась гораздо труднѣе, нежели на крутыхъ, то мы здѣсь укажемъ принципъ именно этихъ обдѣлокъ.

На фиг. 103 пунктирная линія обозначаетъ линію раздѣла между гранитомъ и пестрымъ песчаникомъ. Главный проводъ, назначенный для сбора воды, получаемой изъ всѣхъ ключей и требующій соотвѣтственнаго діаметра, уложенъ на 1,5—2 метр. подъ этой линіей раздѣла. Для предупрежденія попаданія поверхностной воды сборная галлерея (ср. фиг. 103) настолько отодвинута за линію раздѣла, что почвенный покровъ надъ непроницаемымъ слоемъ достигаетъ толщины 5 метр.; эта толщина, какъ показали предшествовавшіе опыты, оказалась безусловно необходимой для полученія воды во всякое время безо всякой мути. Отъ сборной галлереи штольня ведетъ къ колодцевой камерѣ, отодвинутой впередъ настолько, что замокъ покрывающаго ее свода покрытъ лѣсной почвой на толщину въ среднемъ 1,5 метр.



Фиг. 105. Продольный и поперечный разрѣзъ колодцевыхъ камеръ ключевыхъ обдѣлокъ у Гарцбаха.
Масштабъ 1 : 75 нат. велич.

Въ одномъ только случаѣ оказалось экономически выгоднымъ соединить вмѣстѣ колодезную камеру и переходную шахту провода; во всѣхъ же остальныхъ случаяхъ, ввиду сравнительно значительнаго разстоянія между главнымъ проводомъ и колодцевой камерой, переходную шахту устраивали отдѣльно отъ колодезной камеры, соединяя ихъ помощью чугуннаго провода, какъ показано на фиг. 103. При послѣднемъ устройствѣ колодезная камера и переходная шахта снабжены отдѣльными спускными каналами для ихъ опоражниванія. Само собой разумѣется, что эта система явилась результатомъ тщательныхъ сравнительныхъ исчисленій смѣтныхъ стоимостей сооруженія.

Доступъ въ колодезную камеру происходитъ не черезъ отдѣльныя двери, а черезъ переходную шахту. Въ данномъ случаѣ, когда сооруженіе расположено среди лѣса на разстояніи 8 килом. отъ населеннаго пункта, этотъ способъ устройства, на основаніи вышеприведенныхъ соображеній, можетъ считаться единственнымъ правильнымъ рѣшеніемъ задачи, и еще тѣмъ болѣе, что осмотръ и чистка требуются весьма рѣдко.

Всѣ остальныя техническія подробности показаны на фиг. 104 и 105. Для опоражниванія бассейна чистой воды у западной наружной стѣны устроена запирающаяся на одну сторону задвижка. Водосливъ соединяется съ водоспускомъ, и стекающая обоими путями вода по цементной трубѣ діам. 30 милим. изливается въ лѣсъ. Задвижка снабжена бронзовымъ винтомъ съ муфтой и такими же гайками. При поднятіи задвижечнаго клинкета закрѣпленная на

прочной чугунной балкѣ муфта и ручной маховичекъ остаются на мѣстѣ; точно также—и при опусканіи клинкета. Наоборотъ, бронзовый винтъ двигается вмѣстѣ съ клинкетомъ въ коробкѣ задвижки приблизительно на 400 милиметр., и соотвѣтственно съ этимъ соразмѣрена длина винта.

На вертикально загнутой вверхъ трубѣ расположена мѣдная сѣтка для задержанія постороннихъ плавающихъ тѣлъ; передъ спускной трубой устроена запирающаяся рѣшетка для задержанія крупныхъ предметовъ, могущихъ попадать изъ спускной шахты. Углубленная на 100 миллиметр. у входа въ колодезную камеру рѣшетка отводитъ всѣ нечистоты отъ входнаго люка. или смотровой шахты, а также и случайно попадающую туда воду, къ спускной трубѣ, причемъ поступленіе ихъ въ колодезную камеру оказывается невозможнымъ. Циркуляція воздуха, происходящая по спускной трубѣ и черезъ отверстія въ шахтной крышкѣ, регулируется увеличеніемъ или уменьшеніемъ отверстій въ крышкѣ и образуетъ превосходную и весьма правильную вентиляцію колодезной камеры, штоленъ и галлереи.

Перекинутый черезъ бассейнъ чистой воды мостъ шир. 0,5 метр. образуетъ собой входъ въ штольню и галлерею. Вода изъ ключей, собирающаяся въ галлереѣ, поступаетъ изъ штольни въ бассейнъ чистой воды по двумъ расположеннымъ съ правой и съ лѣвой стороны моста и оканчивающимся въ бассейнѣ каналамъ, составляющимъ отвѣтвленіе отъ впускного канала, начинающагося на 0,8 метр. за восточной наружной стѣной колодезной камеры въ срединѣ штольни; они покрыты каменными плитами.

Въ западной стѣнѣ входной шахты задѣланы желѣзныя скобы, расположенныя на разстояніяхъ въ 0,2 метр. и служащія ступенями для опусканія въ шахту. Бассейнъ чистой воды, служащій также осадочнымъ бассейномъ для песку, тоже снабженъ желѣзными скобами для опусканія въ него людей послѣ опоражненія отъ воды; скобы задѣланы въ восточной стѣнѣ съ правой и лѣвой сторонъ моста до подошвы бассейна. Эти приспособленія дешевле лѣстницъ и занимаютъ меньше мѣста.

Фундаментъ колодезной камеры состоитъ изъ слоя бетона толщ. 250 милим.; кладка же штоленъ и галлерей возведена прямо на скалистомъ грунтѣ.

Вся кладка возведена изъ глыбъ пестраго песчаника, обтесанныхъ по наружнымъ плоскостямъ и уложенныхъ на цементномъ растворѣ, при чемъ швы на наружныхъ плоскостяхъ раздѣланы или расшиты. Бассейнъ чистой воды оштукатуренъ слоемъ цементнаго раствора толщ. 20—30 милим., поверхъ котораго нанесенъ еще слой чистой цементной штукатурки. Наружныя поверхности сводовъ тоже снабжены слоемъ цементной штукатурки.

Стѣны штоленъ и галлерей выложены изъ каменной кладки на цементномъ растворѣ только до обрѣза фундамента или цоколя; въ остальныхъ своихъ частяхъ онѣ выведены изъ сухой кладки.

Это весьма простое и солидное устройство въ теченіе многихъ годовъ дало самые лучшіе результаты и вполнѣ можетъ быть рекомендовано во всѣхъ случаяхъ, подобныхъ описанному. Преимущественно глубокая обдѣлка обезпечиваетъ во всякое время—даже при наибольшемъ таяніи снѣговъ весной — полученіе чистой прозрачной, какъ кристаллъ, воды *).

Протяженіе исполненныхъ до настоящаго времени водосборовъ изъ Гарцбахскихъ ключей составляетъ около 3 километр. До Плетига (фиг. 101) въ нормальное время имѣется въ распоряженіи около 60 литр. воды въ секунду, и изъ этого количества употребляется для водоснабженія около одной трети. Такъ какъ въ городѣ Баденъ-Баденѣ насчитывается 14000 жителей, и онъ получаетъ около 20 литр. воды въ секунду, то населеніе города можетъ еще значительно возрости до тѣхъ поръ, пока потребуется дальнѣйшее расширеніе сооруженія.

Ключевая вода почти химически чиста и лѣтомъ у ключей имѣетъ температуру 7—8°С. Значеніе этой воды въ смыслѣ предупрежденія болѣзней отложенія камней и извести выяснено Штаммомъ **).

Весьма крупная обдѣлка ключей произведена въ послѣднее время подъ руководствомъ инженера Альтмана въ такъ называемомъ Мюлаускомъ ущельѣ для водоснабженія города Инсбрука въ Тиролѣ, которую мы здѣсь вкратцѣ опишемъ.

---

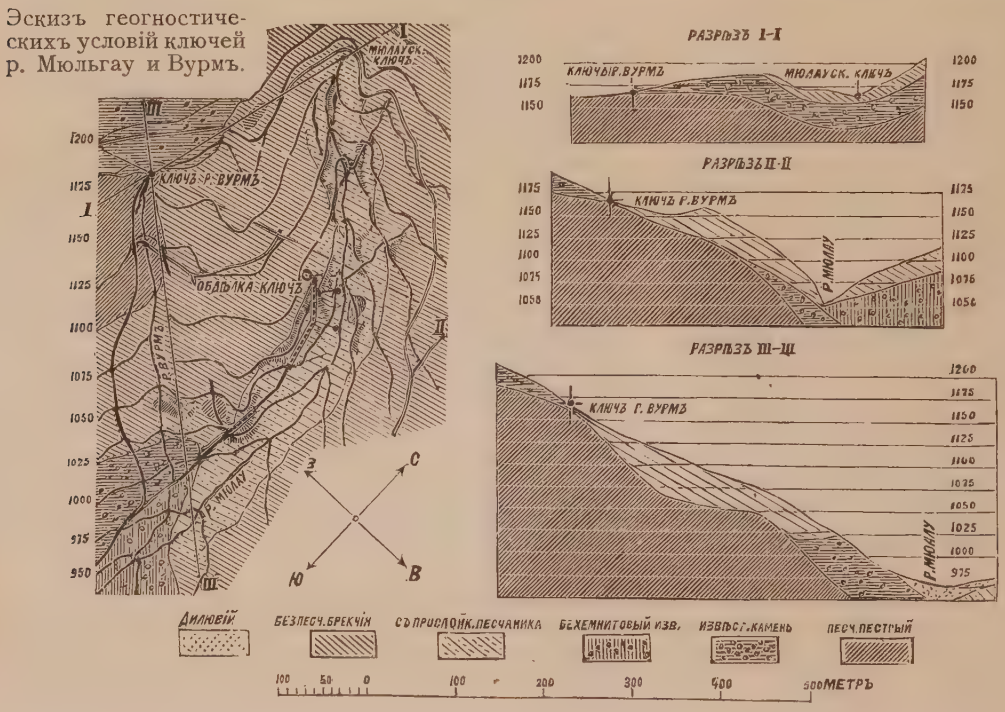
*) Находящіяся въ той-же области менѣе глубокія обдѣлки, устроенныя управленіемъ казенныхъ ваннъ, послѣ каждаго сильнаго дождя даютъ мутную воду.

**) Stamm, A. Th. Aphoristische Erwägungen. Baden-Baden. 1882.

Мюлауское ущелье расположено въ небольшомъ удаленіи отъ Инсбрука на лѣвомъ берегу р. Инна выше Мюльгау на склонѣ Зольштейнской горной цѣпи. Находящіяся здѣсь возвышенности принадлежатъ къ тріасской формаціи; эти возвышенности имѣютъ изгибы или складки, почти параллельныя долинѣ р. Инна съ направленіями отъ запада къ востоку. Склоны горъ представляютъ собой эрозіонныя (смытыя водой) поверхности.

По напластованію слоевъ краснаго песчаника въ видѣ двухъ лежащихъ на склонахъ горы другъ надъ другомъ кряжей, изъ коихъ нижній расположенъ на 750 метр. надъ уровнемъ моря, а верхній—на 1200 метр. надъ уровнемъ моря, направляясь съ запада на востокъ, Ьлассъ, изслѣдовавшій эту мѣстность въ геогностическомъ отношеніи, заключилъ о двухъ лежащихъ одна надъ другой складкахъ породы.

Верхній пластъ краснаго песчаника, обнаженный у Вурмбахскихъ ключей (ф. 106), повидимому въ общемъ имѣетъ паденіе къ сѣверу, но изогнутъ въ видѣ свода; верхушки или сѣдла этихъ изгибовъ смыты водой, и поэтому глубже лежащіе красные пласты выступаютъ на дневную поверхность въ видѣ полосъ съ сѣверо-западнымъ направленіемъ. Мульда между обѣими сильно сдавленными верхушками весьма невелика и представляетъ собой незначи-



Фиг. 106. Ключевой сборъ города Инсбрука.

тельный сборный водный бассейнъ, питающій нѣсколько только отдѣльныхъ ключей; болѣе крупную сборную область образуетъ собой широкая мульда, расположенная подъ вторымъ выше лежащимъ кряжемъ песчаника. Эта мульда питаетъ мощные ключи Вурмбаха и Мюлаубуха, а также и ключи въ ущельѣ.

У Вурмбахскихъ ключей вода выступаетъ непосредственно на границѣ между краснымъ песчаникомъ и налегающимъ на немъ темнымъ известнякомъ; при этомъ получается такое впечатлѣніе, что красные глинистые слои образуютъ почву того сборнаго бассейна, изъ котораго вытекаютъ ключи.

Нѣсколько выше Вурмбахскаго ключа почти горизонтальная тропинка ведетъ къ началу Мюлаусскаго ручья. Вода послѣдняго выступаетъ изъ образованнаго горнымъ мусоромъ склона, закрывающаго собой дѣйствительное мѣсто происхожденія ключа, а именно вышеупомянутую границу между пластами. По обѣимъ сторонамъ ручья расположены отлогіе пласты брекчіи, въ мульдообразныхъ углубленіяхъ которой течетъ вода. Дальше по направленію долины ручей сильно углубляется въ брекчію, и съ обѣихъ сторонъ ручья, но главнымъ

образомъ съ западной стороны, русло направлено между крутыми стѣнками до того мѣста, гдѣ Вурмбахъ впадаетъ въ Мюлау (ср. фиг. 106).

На этихъ крутыхъ стѣнкахъ выступаютъ обильные ключи, собранные для водоснабженія города Инсбрука.

Упомянутыя наклоненныя къ сѣверу красныя сланцеватыя глины и песчаники образуютъ собой большой бассейнъ, въ которомъ расположены налегающія на нихъ пласты известняка. Проникающія въ послѣдніе атмосферныя инфильтраціи скопляются надъ красными, частью глинистыми, породами и стекаютъ по краю бассейна, расположенному на склонѣ горной цѣпи, въ видѣ сливныхъ ключей. Этотъ край или бортъ бассейна, т. е. граница между краснымъ песчаникомъ и непосредственно надъ ними лежащими слоями темнаго известняка и сѣрой вакки, расположенъ почти горизонтально отъ Вурмбахскихъ ключей до начала Мюлаускаго ручья. Вдоль образуемой такимъ образомъ на этой мѣстности горизонтальной кривой ключи выступаютъ на дневную поверхность на непокрытомъ раздѣлѣ между породами, или же они стекаютъ отъ п о к р ы т а г о бракчіей раздѣла между породами въ щели по направленію къ Мюлаускому ручью. Но описанныя выше крутыя стѣнки долины ручья Мюлау пересѣкаютъ эти щели, и причина образованія ключей въ ущельѣ кроется именно въ этомъ, а также и въ томъ обстоятельствѣ, что водоудерживающіе красные песчаники въ почвѣ долины опять располагаются вблизи поверхности.

Разрѣзъ I—I изображаетъ поперечную профиль горы отъ ключей Вурмбаха до ключей Мюлау; разрѣзъ II—II изображаетъ видъ склона горы отъ Вурмбахскихъ ключей до русла Мюлау, а разрѣзъ III—III ясно изображаетъ двойной изгибъ или складку породы.

Описанныя мѣстныя условія указали на цѣлесообразность сбора выступающихъ грунтовыхъ водъ вдоль раздѣла между породами по линіи между Вурмбахскими и Мюлаускими ключами; этотъ то сборъ воды имѣлъ въ виду исполнитель работъ инженеръ Альтманнъ. Но различныя препятствія административнаго характера вызвали необходимость отказаться отъ этой работы и предпринять обдѣлку ключей въ Мюлаускомъ руслѣ.

Эта обдѣлка или сборное сооруженіе изображена на фиг. 106 пунктирной линіей, проведенной между 2-мя сплюшными линіями. Она основана на идеѣ сбора ключевой воды изъ щелей помощью штоленъ, заложенныхъ на песчаникѣ и затѣмъ по поверхности послѣдняго направленныхъ вдоль выступающихъ на дневную поверхность ключей, оставаясь всегда выше дна ручья. Исполненію работъ предшествовали изысканія, давшія весьма важныя заключенія о теченіи грунтовой воды и направленіи слоевъ краснаго песчаника.

Первая нижняя штольня съ уклономъ 1:500, пересѣкающая горизонталь 1025 метр., не собирала воды, а служила только для провода, чугунной трубы, доходящей до дѣйствительной водосборной штольни, начинающейся на горизонтали 1500 метр.

Эта сборная штольня шир. въ свѣту 1,2 метр. и высотой 1,8 метр. состоитъ изъ трехъ частей: нижней длиной около 60 метр. съ уклономъ 1:200, средней длин. около 40 метр. съ уклономъ дна 1:4 и верхней въ видѣ каскада со ступенями шир. 1,2 метр. При проведеніи этой штольни изъ почвы выступали громадныя количества воды, проходившія по щелямъ расположеннаго надъ краснымъ песчаникомъ известняка, направленіе котораго, какъ указано выше, совпадало съ направленіемъ подошвы штольни, и доходившія до 200 литр. въ секунду. Количество воды въ нижнихъ частяхъ штольни постепенно уменьшалось, между тѣмъ какъ въ верхнихъ частяхъ оно соотвѣтственно увеличивалось, такъ что можно было заключить, что главныя водяныя жилы въ горѣ расположены вблизи конца штольни. Кромѣ того, въ водѣ часто замѣчалась муть, происхожденіе которой можно объяснить происходившими внутри горы обвалами и осѣданіями.

Слѣдуя за этими признаками, дошли, наконецъ, до обширной, длин. около 36 метр. и шир. 10 метр., пещеры, по открытіи которой количество воды поднялось до 400 литр. въ секунду, при чемъ притоки въ нижнія части штольни постепенно исчезали. Этой пещерой объяснилась причина появлявшейся временами мути въ водѣ штольни: отъ потолка ея часто отдѣлялись глыбы, падавшія въ воду, собранную въ пещерѣ какъ въ естественномъ сборномъ бассейнѣ, и образовавшія муть.

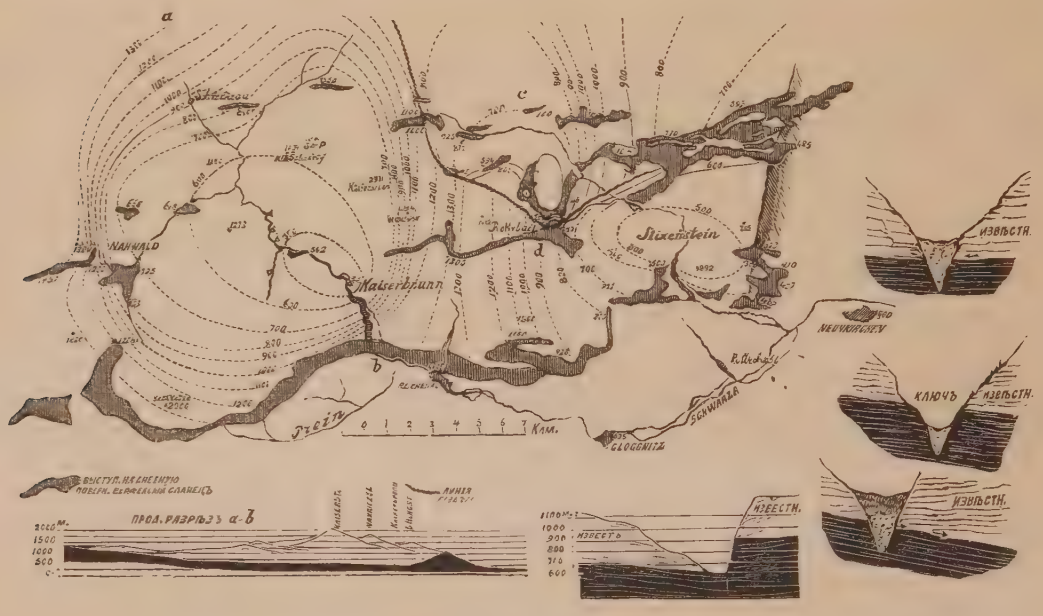
Въ этой пещерѣ затѣмъ отдѣльнымъ притокамъ придавалось уже правильное направленіе. Задняя часть этой пещеры, изъ естественной стѣны которой теперь вытекали ключи, была тщательно огорожена каменной стѣной, допускавшей проходъ воды по щелямъ; затѣмъ потолокъ пещеры былъ поддержанъ сухой каменной кладкой для предупрежденія обваловъ, и съ

тѣхъ поръ изъ нея стала выливаться совершенно прозрачная, превосходная по своимъ качествамъ вода, температура которой при истокѣ составляетъ 5—6°С.

Вурмбахскій ключъ былъ обдѣланъ совершенно отдѣльно и соединенъ въ показанномъ на планѣ мѣстѣ со штольней помощью прежде существовавшаго уже провода. Само собой разумѣется, что вслѣдствіе небольшаго числа жителей въ Инсбрукѣ изъ всего доставляемаго штольней количества воды для водоснабженія потребовалась только небольшая часть, около 42 литр. въ секунду, такъ что съ теченіемъ времени потребность города можетъ вполнѣ покрываться Вурмбахскимъ ключемъ.

Къ сожалѣнію, предѣлы нашей книги не даютъ намъ возможности входить въ описаніе различныхъ деталей этого весьма интереснаго сооруженія.

Въ заключеніе упомянемъ здѣсь объ одномъ изъ превосходнѣйшихъ существующихъ водосборовъ, а именно объ обдѣлкѣ ключа Кайзербрунненъ при Вѣнѣ. Сперва путемъ геогностическаго эскиза выяснимъ здѣсь причины образованія ключей, а затѣмъ опишемъ самое сборное сооруженіе, причемъ приведены будутъ результаты наблюденій надъ ключами послѣ ихъ обдѣлки.



Фиг. 107. Геогностическія условія въ области Вѣнскихъ горныхъ ключей.

Выше (см. Отд. I, гл. 10) мы указали на происхожденіе ключа Кайзербрунненъ. Воды его большей частью происходятъ отъ „Шнееберга", высшей точки известковаго пояса въ окрестностяхъ Вѣны. Эта гора образуетъ вполнѣ сухое обширное плато, окруженное со всѣхъ сторонъ очень крутыми уклонами и снабженное глубокими ущельями и воронкообразными углубленіями. Въ ущельяхъ и углубленіяхъ круглый годъ сохраняется снѣгъ, а на плато—втеченіи большей части года. Всѣ атмосферные осадки и тающій снѣгъ, просачиваясь въ породу, проникаютъ къ подстилающему известнякъ слою такъ называемаго Верфенскаго сланца. На фиг. 107 послѣдній въ мѣстахъ своего появленія на дневной поверхности обозначенъ вертикально заштрихованными плоскостями; высоты надъ уровнемъ моря обозначены на горизонталяхъ.

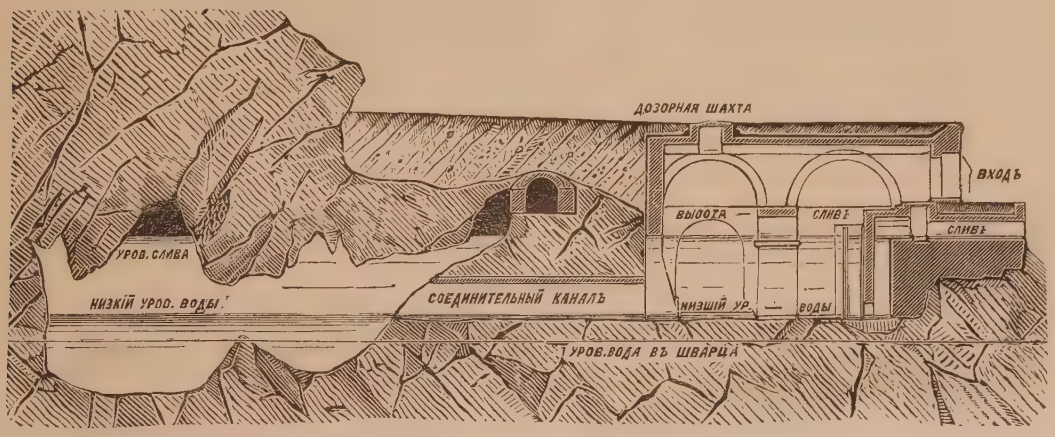
По этому сланцу должны стекать подпочвенныя воды, что происходитъ различными путями. Если сланецъ расположенъ въ видѣ мульды глубже насосовъ долины, какъ показано въ верхнемъ разрѣзѣ съ правой стороны чертежа, тогда грунтовая вода невидимымъ образомъ выступаетъ съ обѣихъ сторонъ мульды и проходитъ въ наносы. Если сланецъ путемъ размыва обнаженъ и расположенъ такъ, какъ показано на второмъ разрѣзѣ сверху по правой сторонѣ чертежа, то у раздѣла породъ происходитъ видимое истеченіе ключей. Если паденіе непроницаемой породы равномѣрно продолжается справа и слѣва размыва, то и грунтовый

потокъ слѣдуетъ по этому паденію, т. е. онъ проходитъ черезъ насосы размытой выемки и затѣмъ дальше распространяется въ известнякѣ. Грунтовыя воды совершенно задерживаются въ томъ случаѣ, когда существуетъ взбрасываніе породъ, какъ при Рорбахѣ.

Существующіе въ этой области открытые водяные потоки въ продолженіи долгаго времени размыли себѣ въ известнякѣ русла, во многихъ мѣстахъ достигающія непроницаемаго слоя и мѣстами даже углубляющіяся въ него; вслѣдствіе этого подобнымъ путемъ образовалось огромное число ключей, между которыми самые значительные и важные суть: Кайзербрунненъ и Штиксенштейнскіе ключи, извѣстные также подъ названіемъ горныхъ ключей, примѣненные для водоснабженія города Вѣны.

Подпочвенный резервуаръ Кайзербрунненъ состоитъ изъ трещиноватыхъ известковыхъ породъ, содержащихъ въ своихъ трещинахъ, щеляхъ, полостяхъ и проч. огромныя количества воды но могущихъ при этомъ содержать значительныя количества воды и въ своихъ порахъ (въ среднемъ около 15—20% объема породы). Этотъ необыкновенно громадной величины подпочвенный резервуаръ здѣсь создаетъ всѣ условія для появленія обильныхъ и постоянныхъ ключей.

При измѣреніи 10 октября 1863 г. Кайзербрунненъ давалъ количество воды 409 литр. въ секунду. За 1865 и 1869 г. наименьшее количество воды оказалось въ январѣ, составляя 263 литр. въ секунду, а наибольшее—въ маѣ 1015 литр. въ секунду; среднее количество за это время наблюденій составляло 572 литра въ секунду. Вода выступала изъ трещины породы и подымалась вертикально вверхъ, образуя во время наибольшаго притока родникъ, подымающійся изъ небольшого ключевого пруда; во время наименьшаго истока получался неподвижный уровень воды—въ ключевомъ прудѣ, изъ котораго она стекала.



Фиг. 108. Продольный разрѣзъ ABCDE ключевой обдѣлки Кайзербрунненъ въ Вѣнѣ.

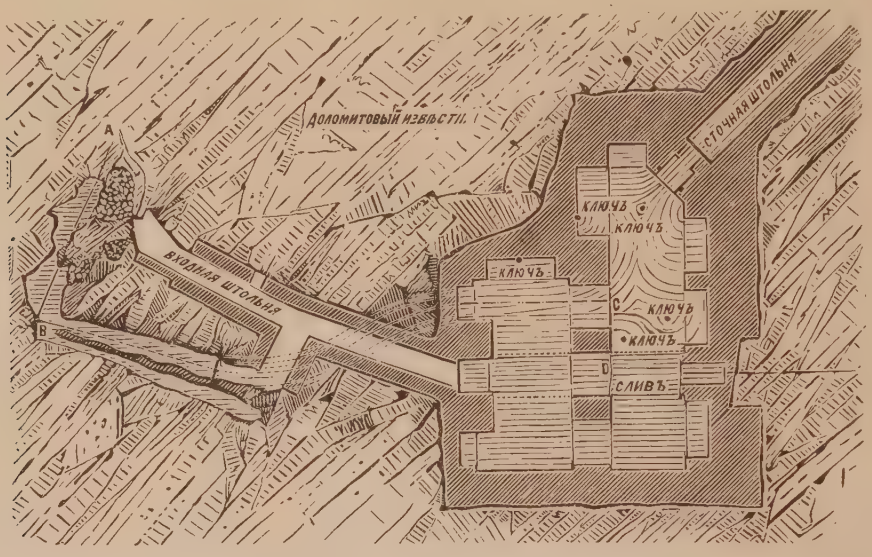
Наивысшій наблюдавшійся уровень воды въ ключевомъ прудѣ соотвѣтствовалъ высотѣ 527,06 метр. надъ уровнемъ моря; нормальный же уровень воды, по сообщенію водопроводной комиссіи, соотвѣтствовалъ высотѣ 522,70 метр. надъ уровнемъ моря.

Изъ того обстоятельства, что протекающая у Кайзербрунненъ горная рѣчка Шварца непосредственно выше горнаго ключа получаетъ непрерывное и обильное количество грунтовой воды, заключили, что уложенная отъ начала ключа и расположенная глубже его штольня въ значительной степени можетъ увеличить количество воды, даваемой ключемъ. Прежде всего подобнымъ путемъ получилась возможность улавливать грунтовыя воды, притекающія въ Шварцу сбоку; кромѣ того, помимо главнаго истока ключа здѣсь существовали нѣкоторые побочные притоки, которые тоже надѣялись уловить этимъ путемъ.

Поэтому задача обдѣлки ключей состояла въ соединеніи всѣхъ этихъ водъ въ одинъ общій сборный каналъ; рѣшеніе этой задачи было произведено раскапываніемъ Кайзербруннена послѣ предварительнаго устройства требуемаго водоотводнаго канала.

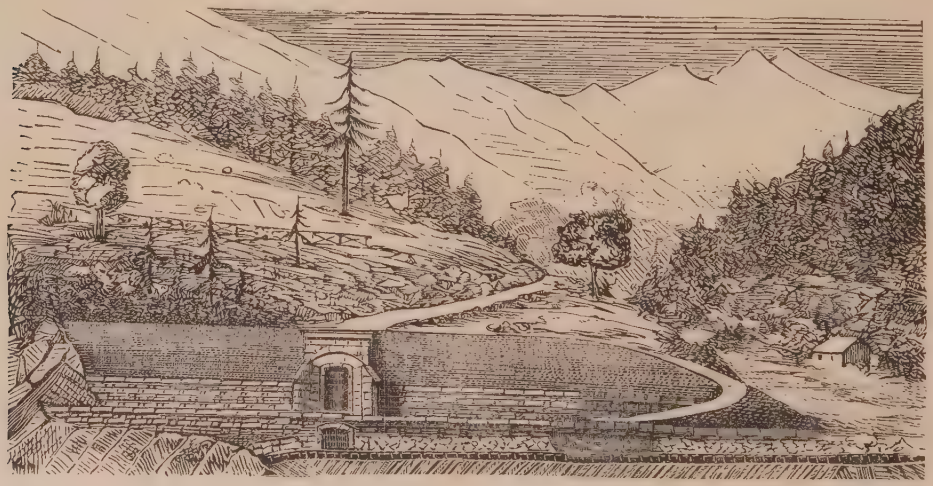
Осенью 1871 г. къ Кайзербруннену была проведена постепенно углублявшаяся штольня для опредѣленія главныхъ водяныхъ жилъ породы. Наконецъ, былъ найденъ гротъ длиной 17 метр. и шир. 1 метръ съ многочисленными известковыми натеками. Этотъ гротъ виденъ изъ продольнаго и поперечнаго разрѣзовъ на фиг. 108 и 109.

Дѣйствительная глубина воды въ этомъ гротѣ, въ который ключи поступали со всѣхъ сторонъ, даже и снизу, не могла быть измѣрена; передъ этимъ гротомъ въ 5 мѣстахъ выступали весьма мощные ключи, отдѣльно показанные на фиг. 109. Положеніе грота и этихъ послѣднихъ ключей опредѣлило собой болѣе значительное, въ сравненіи съ предположеннымъ, протяженіе колодезной камеры (называемой здѣсь водянымъ замкомъ—Wasserschloss).



Фиг. 109. Горизонтальный разрѣзъ обдѣлки Кайзербрунненъ въ Вѣнѣ.

Устройство этого сооруженія видно на фиг. 108 и 109. Предъ отводнымъ каналомъ устроена задвижка для возможности произвольнаго регулированія расхода воды; затѣмъ водяной замокъ снабженъ водосливнымъ приспособленіемъ (фиг. 108), расположеннымъ на высотѣ



Фиг. 110. Видъ водяннаго замка Кайзербрунненъ бл. Вѣны.

526,25 метр. надъ уровнемъ моря. Подошва или дно водяного замка расположена на 5,06 метр. глубже, т. е. на высотѣ 521,19 метр. надъ уровнемъ моря. Отводная штольня расположена глубже этой подошвы, такъ что можетъ быть примѣнена въ качествѣ спускного канала. Чистка сооруженія можетъ быть произведена черезъ отдѣльную шахту; для входа въ камеру устроена дверь, помощью которой производится и вентиляція камеры (см. фиг. 108).

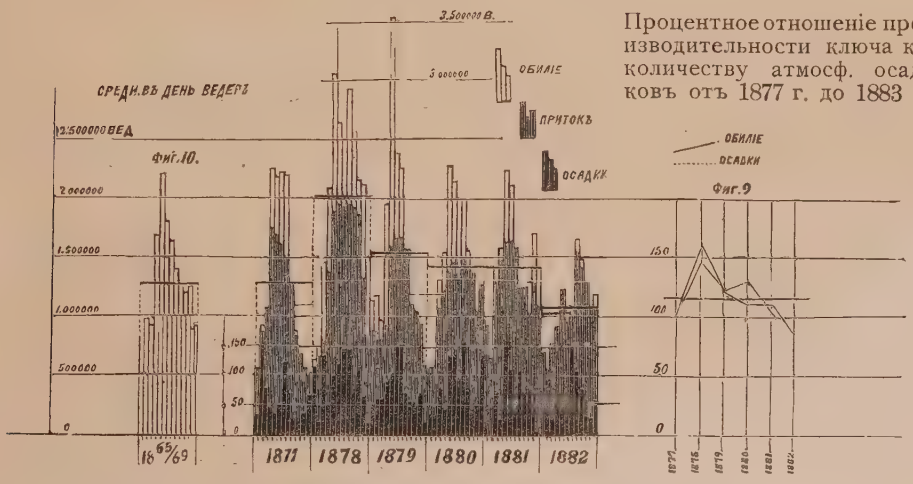
На фиг. 110 изображенъ внѣшній видъ водяного замка; необходимо замѣтить, что для отвода излишней сливающейся воды, а также и для отвода быстраго горнаго ручья, протекающаго мимо замка къ Шварцѣ, устроено урегулированное русло, выстилка подошвы котораго также видна на фиг. 110. Кладка водяного замка произведена изъ тесаныхъ камней на цементномъ растворѣ.

Изъ приведенныхъ выше чиселъ легко видѣть, что описанными работами уровень воды въ ключахъ пониженъ приблизительно на 1,5 метр. Послѣдствія подобнаго пониженія оказались именно тѣ, какихъ и слѣдовало ожидать: въ 1872 — 73 г. истокъ воды оказался вдвое больше противъ измѣреній прежнихъ лѣтъ и оставался почти постояннымъ. При этомъ, конечно, установилось новое состояніе равновѣсія въ подпочвенномъ резервуарѣ.

Для выясненія этого новаго состоянія равновѣсія замѣтимъ здѣсь, что Штиксенштейнскій ключъ обдѣланъ совершенно такимъ же путемъ, какъ и Кайзербрунненъ, и до обдѣлки давалъ наименьшее количество воды 189 литр. въ секунду, наибольшее—436 литр., а средній притокъ составлялъ 269 литр. въ секунду.

Въ 1865—69 г., т. е. до обдѣлки оба ключа давали слѣдующія количества воды въ литрахъ въ секунду:

Среднія количества воды въ литрахъ въ секунду.	Январь.	Февраль.	Мартъ.	Апрѣль.	Май.	Іюнь.	Іюль.	Августъ.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.
Кайзербрунненъ	263	413	322	710	1015	798	783	665	528	586	390	401
Штикштейнскій	204	227	279	389	436	375	282	240	208	206	193	189
Вмѣстѣ . .	467	640	601	1099	1451	1173	1065	905	736	786	583	590



Процентное отношеніе производительности ключа къ количеству атмосф. осадковъ отъ 1877 г. до 1883 г.

Фиг. 111. Діаграмма производительности и отношеній осадковъ въ горныхъ ключахъ г. Вѣны.

Измѣренія, производившіяся со времени обдѣлки, только въ первые годы показали болѣе значительные минимумы; вообще же они показали, что вслѣдствіе привлеченія водяныхъ жилъ, раньше не служившихъ для питанія ключей, годичная общая производительность и наибольшія количества притока увеличились, а наименьшія количества притока, наоборотъ, уменьшились въ сравненіи съ прежними.

Это явленіе представляетъ собой весьма простое слѣдствіе облегченнаго притока воды изъ ключей, который вмѣстѣ съ пониженіемъ уровня быстро понижаетъ горизонтъ грунтовыхъ

водъ въ почвѣ, уменьшая такимъ образомъ емкость грунтоваго резервуара до сравнительно небольшой величины (см. выше отд. I, гл. 7).

На фиг. 111 приведена діаграмма измѣреній для Вѣнскихъ горныхъ ключей, на которой производительность выражена въ ведрахъ за 24 часа, а высота атмосферныхъ осадковъ въ милиметрахъ воды въ мѣсяцъ; послѣ всего сказаннаго эта діаграмма не требуетъ никакихъ дальнѣйшихъ поясненій.

Относительно исполненія работъ по обдѣлкѣ ключей прежде всего слѣдуетъ имѣть въ виду, что стоимость единицы работы здѣсь всегда бываетъ гораздо больше, нежели при подобныхъ-же работахъ въ другихъ отрасляхъ инженернаго дѣла, какъ напр. при постройкѣ желѣзныхъ дорогъ, шоссейныхъ путей и проч. Высокая стоимость работъ здѣсь объясняется раньше всего необходимостью огражденія или откачки воды; затѣмъ весьма важное значеніе имѣетъ удаленность мѣста работъ и сравнительно незначительный размѣръ самихъ работъ, а также и то обстоятельство, что большей частью опредѣленный планъ работъ выясняется только при самомъ ихъ выполненіи. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ стоимость работъ значительно повышается излишней, ненужной предосторожностью. Одну изъ подобныхъ предосторожностей представляетъ, напр., избѣжаніе употребленія пороха и динамита или вообще взрыванія скалъ, которое очень часто встрѣчается въ практикѣ въ видѣ инструкціи производителю работъ. Происхожденіе этой предосторожности объясняется опасеніемъ потери воды вслѣдствіе сотрясеній при взрывахъ. Если по даннымъ мѣстнымъ условіямъ, подобное явленіе дѣйствительно возможно, то лучше совершенно отказаться отъ производства работъ по обдѣлкѣ ключей.

Дерево, по возможности, не должно быть употребляемо при обдѣлкѣ ключей. или же оно можетъ быть примѣнено лишь тогда, когда оно постоянно будетъ находиться въ водѣ. Такимъ образомъ всегда слѣдуетъ избѣгать такихъ работъ, при которыхъ весьма трудно удалять различныя деревянныя вспомогательныя части, какъ напр., кружала, крѣпи въ штольняхъ и т. п., такъ какъ дерево служитъ очагомъ различныхъ бактерій, какъ мы это видѣли выше. Для тротуаровъ въ колодезныхъ камерахъ, мостковъ и проч. дерево можетъ быть замѣнено различными соединеніями желѣза и бетона (главнымъ образомъ по системѣ Монье).

Каменная кладка при обдѣлкѣ ключей должна быть произведена или насухо или же на цементномъ растворѣ Заполненіе швовъ сухой каменной кладки мхомъ и т. п. веществами весьма ошибочно и вредно не только изъ гигіеническихъ соображеній (мохъ подверженъ гніенію), но также и ввиду сохраненія постройки. Въ тѣхъ случаяхъ, когда каменная кладка не имѣетъ исключительно характера облицовки, какъ, напр., въ стѣнкахъ сборныхъ галлерей, въ облицовкѣ откосовъ и проч., сухая каменная кладка должна быть произведена весьма прочно, такъ какъ въ противномъ случаѣ стѣны, спустя болѣе или менѣе короткое время, рушатся. Преимущественно слѣдуетъ обращать серьезное вниманіе на тщательность приготовленія постели для камней. Для раствора не слѣдуетъ употреблять исключительно одну только сѣрую известь, такъ какъ опытъ показалъ, что въ колодцевыхъ камерахъ известь постепенно выщелачивается, образуя натеки и частью загрязняя воду. При хорошемъ цементномъ растворѣ это не имѣетъ мѣста. Кладка изъ хорошаго сильно обожженнаго кирпича обыкновенно считается наилучшей для быстро возводимыхъ сооруженій; мягкій кирпичъ очень быстро загниваетъ въ обдѣлкѣ, а потому его слѣдуетъ избѣгать.

Для устраненія образованія натековъ на сводахъ колодезныхъ камеръ, штоленъ и проч., наружныя поверхности ихъ покрываютъ асфальтомъ или слоемъ глины толщиной не меньше 20—30 сантим.

Если при входѣ въ обдѣлочныя сооруженія устроены откосы, то при одиночномъ ихъ заложеніи они безусловно должны быть облицованы кладкой. Сырость, морозъ и жара разрушающимъ образомъ дѣйствуютъ на подобные откосы, если они не обросли травой, такъ что выбранные даже въ скалахъ проходы засыпаются отъ обваловъ, если только откосы не облицованы.

Если является вопросъ объ уничтоженіи протеканія воды черезъ щели въ камняхъ, то попытки заливанія щелей цементомъ всегда бываютъ безуспѣшны. Лучшіе результаты даетъ способъ, по которому камень съ правой и лѣвой стороны щели выдалбливаютъ, образуя такимъ образомъ желобокъ шир. 15—20 сантим. Въ этотъ желобокъ забиваютъ свинцовыя плиты, поверхъ которыхъ заливаютъ бетонъ.

Очень часто случается, что въ колодезныя камеры сбоку притекаетъ вода, затрудняющая правильное производство каменной кладки. Въ этихъ случаяхъ никогда не слѣдуетъ пытаться помочь себѣ примѣненіемъ быстро вяжущихъ растворовъ или другихъ подобныхъ средствъ, такъ какъ они нисколько не помогаютъ дѣлу. Единственный правильный способъ состоитъ въ томъ, что вода отводится въ трубу, которая задѣлывается въ стѣну. Такимъ образомъ вода получаетъ стокъ во все время производства каменной кладки. Впослѣдствіи эту трубу легко закрыть бетонной пробкой.

Часто на весьма сырыхъ стѣнахъ бассейновъ чистой воды и проч. не держится штукатурка, которая, какъ говорятъ, сплываетъ. Въ этомъ случаѣ не остается ничего иного, какъ устроить плотную обшивку тотчасъ же послѣ оштукатурки стѣны и оставить ее тамъ до полнаго затверденія штукатурки.

Проводы, которые не покрыты землей по меньшей мѣрѣ на 2 метр., никогда не слѣдуетъ устраивать изъ бетонныхъ или гончарныхъ трубъ безъ плотнаго соединенія стыковъ, такъ какъ черезъ послѣдніе проходятъ отвѣтвленія корней, которыя затѣмъ препятствуютъ теченію воды. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ наиболѣе удобными оказываются чугунныя трубы.

Для глубоко уложенныхъ сборныхъ трубъ, наоборотъ, бетонныя трубы оказываются наиболѣе удобными, потому что вода въ нихъ всегда бываетъ чище а лѣтомъ—прохладнѣе. При этомъ необходимо наблюдать за тѣмъ, чтобы скорость воды не превышала 1 метр. въ секунду, такъ какъ при болѣе значительныхъ скоростяхъ, какъ показали опыты, трубы постепенно разрушаются водой.

Вообще слѣдуетъ имѣть въ виду, что наиболѣе важная часть водоснабженія, а именно сооруженія для полученія или сбора воды, должна быть выполнена съ наибольшей тщательностью. Бережливость въ отношеніи расходовъ на изящество сооруженія, на архитектурныя украшенія и т. д. даже можетъ быть рекомендована; наоборотъ, не слѣдуетъ жалѣть никакихъ средствъ для изготовленія даже мельчайшихъ деталей необходимаго устройства изъ наилучшихъ матеріаловъ и наиболѣе совершеннымъ способомъ съ цѣлью избѣжанія, по возможности, всякаго ремонта въ будущемъ, который вообще всегда чрезвычайно затруднителенъ и вредитъ правильному дѣйствію водоснабженія.

Примѣчаніе. Въ журналѣ «Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung» за различные года интересующіеся найдутъ описанія водоснабженій какъ рѣчной, такъ и ключевой водой, болѣе 150 различныхъ городовъ Германіи. Кромѣ того весьма богатый матеріалъ по этому предмету даютъ:

Grahn, E. Statistik der (deutschen) städtischen Wasserversorgungen mit einer geschichtlichen Einleitung. Beschreibung der Anlagen in Bau und Betrieb. München. 1878.

Grahn, E. Die Art der Wasserversorgung der Städte des Deutschen Reichs mit mehr als 5000 Einwohner. München. 1883.

5. Искусственное улучшеніе качествъ воды.

Искусственное улучшеніе качествъ встрѣчающейся въ природѣ и употребляемой для водоснабженія нечистой воды имѣетъ цѣлью: очищеніе воды и освобожденіе ея отъ организированныхъ, органическихъ и неорганическихъ примѣсей, препятствующихъ употребленію данной воды для питья. Рѣшеніе задачи будетъ тѣмъ совершеннѣе и полнѣе, чѣмъ конечный продуктъ меньше содержитъ удаляемыхъ изъ него частицъ, и чѣмъ меньше онъ содержитъ въ себѣ такихъ примѣсей, которыя раньше въ водѣ не содержались и появились въ ней только во время процесса или для самой цѣли очищенія. Для рѣшенія этой задачи въ нашемъ распоряженіи имѣются слѣдующія средства:

1. Механическіе и химическіе процессы и ихъ комбинаціи.

2. Кипяченіе и дестилляція воды.

Дестилляціей достигается почти совершенное очищеніе воды (преимущественно отъ содержащихся въ ней солей), кромѣ только летучихъ примѣсей, которыя опять переходятъ и въ дестиллированную воду. Ниже мы разсмотримъ этотъ способъ подробнѣе. Кипяченіемъ уничтожаются органическія и организированныя вещества, и одновременно съ этимъ выдѣляется та часть содержащихся въ водѣ растворовъ, которая соотвѣтствуетъ временной жесткости воды (см. ниже отд. IV гл. 1). Въ примѣненіи къ полученію значительныхъ количествъ воды оба эти процесса оказываются чрезвычайно дорогими, а потому находятъ себѣ только ограниченное примѣненіе.

Изъ поименованныхъ процессовъ (I) на первомъ планѣ стоятъ: отстаиваніе, т. е. освобожденіе воды отъ взвѣшенныхъ въ ней примѣсей путемъ медленнаго ея движенія, или состоянія покоя, и фильтрованіе воды черезъ песокъ. Въ случаѣ необходимости, для достиженія болѣе совершенной очистки воды, до ея отстаиванія и фильтрованія вода можетъ быть подвержена еще предварительной подготовкѣ. Если при этомъ примѣняются химическія средства, то обыкновенно имѣютъ цѣлью при ихъ посредствѣ уничтожить въ водѣ органическія или организированныя вещества или выдѣлить изъ нея красящія вещества и только въ исключительныхъ случаяхъ удалить изъ нея соли.

Удаленіе солей. Для выдѣленія изъ воды солей служитъ, главнымъ образомъ, известь, магнезія и натръ въ самыхъ разнообразныхъ соединеніяхъ. Изъ безчисленнаго множества различныхъ способовъ упомянемъ здѣсь: способъ Дене, при которомъ употребляется уксусно-кислый натръ и сода въ соотвѣтствующей смѣси; способъ Болигъ-Гейне съ примѣненіемъ магнезіи и основной углекислой магнезіи; способъ машиностроительнаго завода Гумбольдтъ съ примѣненіемъ извести и соды; способъ Дерво съ примѣненіемъ извести и кальцинированной соды.

Жесткая вода для питанія паровыхъ котловъ и другихъ техническихъ примѣненій часто очищается по какому-либо изъ этихъ способовъ вполнѣ удовлетворительно, въ зависимости

отъ состава солей въ водѣ и примѣненнаго для ихъ выдѣленія состава. Для питьевой воды эти способы очищенія не находятъ себѣ примѣненія.

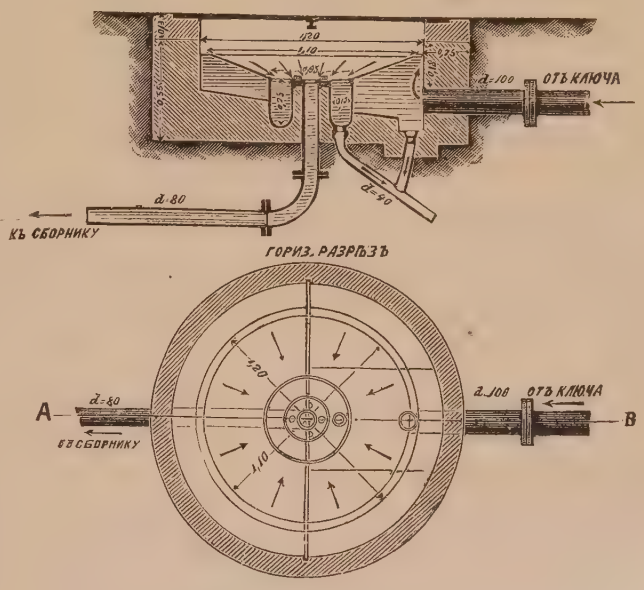
Выдѣленіе излишнихъ количествъ углекислой извести и желѣза. Обусловливаемое содержаніемъ углекислоты присутствіе углекислой извести въ питьевой водѣ весьма непріятно, и послѣ удаленія углекислоты оно ведетъ къ быстрому образованію осадка въ трубопроводахъ; поэтому необходимо удалить изъ воды углекислую известь. Эта цѣль достигается перемѣшиваніемъ воды съ атмосфернымъ воздухомъ, напр., примѣненіемъ каскадовъ и пр. Въ большинствѣ случаевъ оказывается гораздо проще проведеніе воды по открытымъ мелкимъ каналамъ, въ которыхъ происходитъ отложеніе углекислой извести. Этимъ же способомъ пользуются и для удаленія желѣза.

Въ послѣднемъ случаѣ дѣло идетъ объ окисленіи растворимой въ водѣ соли закиси и превращеніи ея въ нерастворимую соль окиси, осѣдающую въ водѣ.

Диссельгофъ въ своей книгѣ *) описываетъ предложенный имъ способъ очищенія ключевой воды съ содержаніемъ желѣза для водоснабженія города Арнсберга. Поступающая изъ ключа вода подымается подъ конической воронкой до края ея и разливается по поверхности воронки, послѣ чего она попадаетъ въ глубокій желобъ, окружающій выпускную трубу, какъ показано на фиг. 112. При этомъ желѣзо выдѣляется въ видѣ хлопьевъ, которые удаляются изъ желоба по спускной трубѣ.

Различные относящіеся сюда способы приведены Эстеномъ **) описывающимъ также способъ быстраго осажденія желѣза. Очищаемая вода пропускается черезъ сито и падаетъ въ видѣ дождя, при чемъ она смѣшивается съ воздухомъ и изливается въ бассейнъ, подъ которымъ расположена песчаная фильтрующая поверхность. При этомъ способѣ происходитъ довольно быстрое превращеніе содержащейся въ водѣ соли закиси въ соль окиси; само собой разумѣется, соль окиси остается на фильтрѣ, такъ что получаемая подъ фильтромъ вода бываетъ свободна отъ содержанія желѣза.

Разрѣзъ А В.



Фиг. 112. Очищеніе воды съ содержаніемъ желѣза.

Обезцвѣчиваніе. Если вода имѣетъ нѣкоторую окраску отъ органическихъ веществъ, какъ, напр., при происхожденіи воды изъ торфяныхъ мѣстностей и проч., то прибавленіе небольшого количества сѣрнокислаго аллюминія (иногда въ смѣси съ известковымъ молокомъ) оказывается достаточнымъ для выдѣленія красящаго вещества; этотъ способъ находитъ себѣ примѣненіе во многихъ случаяхъ практики. Независимо отъ осажденія красящаго вещества сѣрнокислый аллюминій разлагаетъ углекислую известь, выдѣляя углекислоту и образуя осадокъ нерастворимаго гидрата окиси аллюминія. Подобное же дѣйствіе достигается и примѣненіемъ хлористаго желѣза (тоже съ прибавленіемъ нѣкотораго количества известковаго молока).

Удаленіе органическихъ веществъ. Для очищенія воды отъ вредныхъ органическихъ примѣсей примѣняется безчисленное множество способовъ, большей частью представляющихъ собой комбинацію механической и химической очистки. Изъ всѣхъ этихъ спо-

*) Disselhoff, L. Das Wasserwerk von Arnsberg. Berlin. 1888.

**) Oesten, G. Ausscheidung des Eisens aus eisenhaltigem Grundwasser. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1890, стр. 1343.

Снабженіе здоровой водой небольшихъ городовъ, селеній и пр. Перев. съ нѣмецк. съ дополненіями инж.-техн. Л. А. Боровича.

собовъ упомянемъ здѣсь объ угольномъ фильтрѣ, объ асбестовомъ фильтрѣ, о фильтрѣ съ губчатымъ желѣзомъ, съ обыкновенными и пропитанными губками и т. д. Эти фильтры оказываются болѣе или менѣе удовлетворительными для домашняго употребленія; при крупныхъ же водоснабженіяхъ они оказываются невыгодными.

Для предварительной очистки сильно загрязненной воды въ значительныхъ количествахъ примѣняются два способа: способъ Клерка или Портера-Клерка и способъ Андерсона *).

По первому способу, находящему себѣ обширное примѣненіе какъ въ крупныхъ, такъ и въ мелкихъ сооруженіяхъ, къ водѣ прибавляется нѣкоторое количество известковаго молока, при этомъ образуется осадокъ углекислыхъ солей и органическихъ веществъ, а бактеріи вполнѣ или большей частью опускаются на дно. Медленное очищеніе воды при этомъ можетъ быть ускорено фильтрованіемъ по способу Портера-Клерка (фильтръ-прессомъ). Нѣкоторыя затрудненія при примѣненіи этого способа являются отъ измѣненія содержанія въ водѣ углекислоты; если къ водѣ прибавлено извести въ большемъ количествѣ, нежели можетъ быть превращено содержащеюся въ водѣ свободною и наполовину связанной углекислотой, то вода дѣлается негодной къ употребленію.

Способъ Андерсона основанъ на обработкѣ грязной воды металлическимъ желѣзомъ. Пустой цилиндръ, медленно вращающійся на двухъ горизонтальныхъ пустотѣлыхъ осяхъ, содержитъ въ себѣ небольшіе куски желѣза, какъ, напр., выдавки котельнаго листоваго желѣза изъ подъ комаровъ. Одна изъ пустотѣлыхъ цапфъ служитъ для впуска, а другая для выпуска проходящей черезъ цилиндръ очищаемой воды. Съ внутренней стороны цилиндръ снабженъ лопатками. При вращеніи цилиндра или барабана куски желѣза постоянно подбрасываемые, приходятъ въ соприкосновеніе съ протекающей черезъ цилиндръ водой, а также и другъ съ другомъ. Вслѣдствіе тренія кусковъ желѣза другъ о друга, а также о стѣнки цилиндра, они всегда остаются чистыми. Протекающая черезъ цилиндръ вода на каждый кубич. метръ поглощаетъ отъ 1,5 до 3 граммовъ желѣза, которое затѣмъ осаждается въ отстойномъ бассейнѣ, когда вода приходитъ въ соприкосновеніе съ воздухомъ, или когда она протекаетъ по длиннымъ открытымъ мелкимъ желобамъ. Уже послѣ нѣсколькихъ часовъ (обыкновенно по истеченіи 2—6 часовъ) большую часть желѣза находятъ на днѣ отстойнаго бассейна въ видѣ окиси желѣза въ соединеніи съ органическими веществами и другими нечистотами. Послѣдующее затѣмъ фильтрованіе черезъ песокъ даетъ въ видѣ конечнаго продукта воду, свободную отъ содержанія желѣза и съ весьма незначительнымъ содержаніемъ органическихъ веществъ и бактерій **).

Разсмотримъ сперва два наиболѣе дѣйствительныхъ метода очистки воды холоднымъ путемъ, а именно: отстаиваніемъ и фильтрованіемъ черезъ песокъ; при чемъ мы этимъ нисколько не желаемъ умалять значеніе всякихъ другихъ способовъ очистки, не считая ихъ непримѣнимыми. Такъ, напр., въ Вормсѣ въ послѣднее время испытанъ способъ фильтрованія черезъ изготовленныя изъ песку и силиката натра отожженныя плиты, которыя оказались весьма проницаемыми и вполнѣ удовлетворяющими своей цѣли. Въ зависимости отъ условій, очищеніе воды, съ большимъ успѣхомъ, можетъ быть произведено помощью целлулозы, пористыхъ камней, асбеста и проч.

При опредѣленіи цѣлесообразности всякаго способа фильтрованія необходимо всегда имѣть въ виду общее свойство всѣхъ вообще фильтровъ. Нѣтъ ни одного фильтра, каковы бы ни были его устройство и составъ, дѣйствіе котораго не ограничивалось бы исключительно только задержаніемъ въ себѣ примѣшанныхъ къ водѣ нечистотъ. Такъ, напр., если 1 кубич. метръ проведенной рѣчной воды содержитъ въ себѣ 1 килогр. песчаныхъ или илистыхъ примѣсей, и эта

*) Объ очисткѣ воды квасцами см. „Снабженіе здоровой водой небольшихъ городовъ“ и т. д. Перев. инж.-техн. Л. А. Боровича.

**) Андерсонъ впервые примѣнилъ эту систему въ 1884—85 г. въ Антверпенѣ, гдѣ фильтрованіе съ губчатымъ желѣзомъ оказалось неудовлетворительнымъ.

вода притекаетъ къ фильтру, выходя изъ него въ очищенномъ видѣ, то естественно, что отъ каждаго прошедшаго черезъ фильтръ кубич. метра воды въ немъ задержится 1 килогр. нечистотъ, безразлично, сдѣланъ ли фильтръ изъ песку, каменныхъ плитъ, целлулозы, или какого-либо другого матеріала. Уничтожаться въ фильтрѣ ничего не можетъ. При этомъ, конечно, не слѣдуетъ предполагать, что путемъ химическихъ процессовъ не можетъ произойти измѣненія или разложенія, такъ называемой органической матеріи, пахучихъ веществъ и т. п.; но собственно объ уничтоженіи или безслѣдномъ исчезновеніи здѣсь не можетъ быть и рѣчи.

Всякій фильтръ, въ зависимости отъ степени загрязненія подводимой къ нему воды, болѣе или менѣе быстро обогащается нечистотами изъ воды, а потому время отъ времени требуетъ очистки; возможность легкой и дешевой чистки фильтра опредѣляетъ собой цѣлесообразность данной системы фильтрованія, и въ связи съ начальной стоимостью и стоимостью содержанія она рѣшаетъ вопросъ о преимуществѣ одного способа предъ другими. Всѣ обѣщанія возможности безпрерывнаго очищенія мутной воды какимъ-либо фильтромъ безъ замѣны фильтрующаго матеріала представляютъ собой одно только шарлатанство.

Даже при ниже описываемыхъ способахъ очистки путемъ кипяченія и дестилляціи получается остатокъ, вполнѣ соотвѣтствующій содержанію твердыхъ примѣсей существовавшему въ водѣ до ея очистки.

1. Очищеніе воды путемъ отстаиванія и фильтрованія.

Отстаиваніе. Изъ нечистой воды путемъ осажденія въ такъ называемыхъ отстойныхъ бассейнахъ могутъ быть удалены только тѣ примѣси, которыя въ стоячей или медленно текущей водѣ сами собой осѣдаютъ на дно. Этимъ путемъ достигаютъ въ точности тѣхъ же результатовъ, которые въ большихъ размѣрахъ достигаются путемъ самоочищенія воды въ сборныхъ прудахъ, озерахъ и рѣкахъ, и о которыхъ мы упомянули выше (см. гл. 2 и 4).

Отстаиваніе представляетъ собой только экономически выгодную подготовку воды для фильтрованія преимущественно въ тѣ періоды времени, когда притекающая вода бываетъ очень мутна; само собой разумѣется, что и безъ предварительнаго отстаиванія всякая вода въ достаточной степени можетъ быть очищена однимъ только фильтрованіемъ. Такимъ образомъ предварительное отстаиваніе находитъ себѣ раціональное примѣненіе въ тѣхъ только случаяхъ, гдѣ соединеніе его съ фильтрованіемъ оказывается выгоднѣе одного только фильтрованія.

Принимая во вниманіе эти обстоятельства, слѣдуетъ главнымъ основаніемъ поставить экономическую точку зрѣнія, согласно которой въ случаѣ примѣненія бассейна для отстаиванія воды, размѣры его не должны превышать извѣстнаго предѣла. Но съ другой стороны, какъ мы видѣли выше при плотинахъ, осажденіе мути или отстаиваніе бываетъ тѣмъ совершеннѣе, т. е. находящаяся въ искусственномъ бассейнѣ вода бываетъ тѣмъ чище, чѣмъ больше его емкость при соразмѣрной глубинѣ. При устройствѣ сооруженія необходимо найти средину между этими двумя предѣлами.

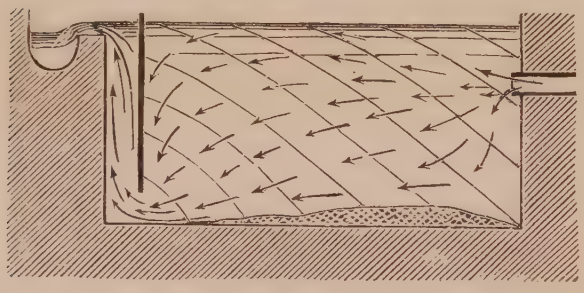
Обыкновенно вслѣдствіе мѣстныхъ условій отстойные бассейны не могутъ быть устроены очень глубокими. Послѣдствіемъ этого является ухуд-

шеніе качествъ содержащейся въ нихъ воды въ гигіеническомъ отношеніи, вслѣдствіе размноженія организмовъ и проч. подъ дѣйствіемъ теплоты и другихъ вліяній, при чемъ это ухудшеніе качествъ возростаетъ вмѣстѣ съ продолжительностью времени нахожденія воды въ бассейнѣ. Исходя изъ этихъ соображеній, слѣдуетъ по возможности ограничивать время отстаиванія для скорѣйшаго окончанія самого процесса отстаиванія.

Предѣлы экономическихъ ограниченій зависятъ отъ чисто мѣстныхъ условій. Обыкновенно бываетъ весьма выгодно производить осажденіе только наиболѣе крупныхъ взвѣшенныхъ примѣсей, а остающуюся въ водѣ болѣе тонкую муть устранять уже путемъ фильтрованія черезъ песокъ. Подобное осажденіе въ достаточной степени можетъ быть произведено втеченіе 24 часовъ, если вода въ отстойномъ бассейнѣ находится въ покоѣ или движется со скоростью 2 или меньше милиметровъ въ секунду. Въ теплыхъ климатахъ слѣдуетъ уменьшить время отстаиванія до 12 или 15 часовъ.

Съ технической стороны отстаиваніе производится такъ, что бакъ быстро заполняется водой, которая оставляется въ немъ въ покойномъ состояніи, а черезъ нѣкоторое время опять изъ него выпускается; можно также пропускать воду весьма медленно и безпрерывно черезъ бассейнъ. Въ первомъ случаѣ время наполненія и опорожненія бака совершенно теряется для процесса осажденія; во второмъ же случаѣ осажденіе мути происходитъ отъ момента впуска до момента выпуска воды. Такъ какъ осажденіе во второмъ случаѣ происходитъ совершенно одинаково какъ и въ первомъ случаѣ, то безпрерывному стеканію воды всегда слѣдуетъ отдавать преимущество предъ простымъ отстаиваніемъ ея въ бассейнѣ. Устройство отстойныхъ бассейновъ можетъ быть произведено различными способами.

Если предназначенная для очистки вода притекаетъ въ бассейнъ по трубѣ, то, по мнѣнію Линдлея *), „въ одномъ широкомъ бассейнѣ невозможно утилизировать все его пространство для цѣли осажденія; при весьма медленномъ движеніи самыхъ ничтожныхъ силъ оказывается достаточнымъ для образованія мѣстнаго теченія направленнаго отъ точки притока до мѣста истока.



Фиг. 113. Дѣйствіе температуры въ отстойномъ бассейнѣ въ лѣтнее время. Опускной щитъ приподнятъ.

Вода слѣдуетъ по кратчайшему пути, и массы воды, расположенныя по бокамъ бассейна, послѣ своего поступленія въ бакъ правильно и равномѣрно не обновляются. Лѣтомъ, если вода въ бассейнѣ охлаждается, мѣстный токъ воды ограничивается только поверхностью: болѣе теплая вода стекаетъ по болѣе холодной къ мѣсту истока, и нижнія части бассейна оказываются не дѣйствующими. Для образованія этого дѣйствія достаточна разность температуръ на какую нибудь даже часть градуса“.

Для достиженія полнаго дѣйствія всего пространства на осажденіе, по меньшей мѣрѣ въ вертикальномъ направленіи, устраивается опускной щитъ. Щитъ погружается въ воду на $^2/_3$—$^3/_4$ ея глубины въ бассейнѣ, и такимъ путемъ лѣтомъ направляютъ къ истоку воду изъ нижней части бассейна, а зимой—изъ верхней. Дѣйствіе этого щита въ лѣтнее время изображено на фиг. 113; нанесенныя кривыя представляютъ собой изотермы, а стрѣлки показываютъ линіи теченія воды. Поступающая въ бассейнъ болѣе теплая вода прежде всего по-

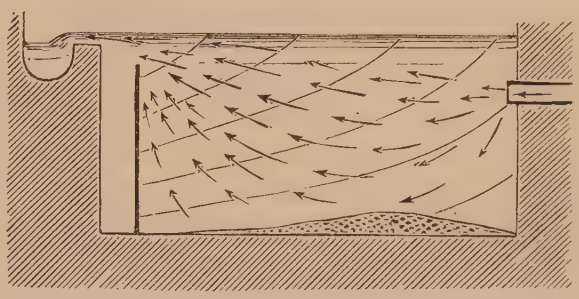
*) Lindley, W. H. De l'usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau. Paris. 1889.

дымается вверхъ, затѣмъ, пройдя черезъ бассейнъ, постепенно опускается и осѣдаетъ внизъ чтобы черезъ щель подъ приподнятымъ щитомъ подняться къ выпускной трубѣ.

Зимой, какъ изображено на ф. 114, поступающая холодная вода опускается на дно. Но нагрѣвшись у дна бассейна и отстоявшись, она должна подняться вверхъ впереди опущеннаго до дна бассейна щита и стекать черезъ верхній его край.

Подобное устройство даетъ возможность утилизировать все пространство бассейна для отстаиванія воды.

На нашъ взглядъ нѣтъ никакой необходимости или практической выгоды впускать очищаемую воду по трубѣ и выпускать ее въ одномъ опредѣленномъ мѣстѣ. Во всякомъ случаѣ болѣе равномѣрный протокъ воды получится тогда, когда притокъ будетъ сдѣланъ въ видѣ водослива по всей ширинѣ бассейна, или въ видѣ отдѣльныхъ меньшихъ водосливовъ или же, наконецъ, въ видѣ впускныхъ трубъ, равномѣрно распредѣленныхъ по всей ширинѣ бассейна, и когда для выпуска воды тоже будетъ устроенъ широкій водосливъ. Подобное расположеніе не сопряжено съ какими-либо техническими затрудненіями.



Фиг. 114. Дѣйствіе температуры въ отстойномъ бассейнѣ въ зимнее время. Опускная плита опущена.

Отстойные бассейны дѣлаются или въ видѣ открытыхъ бассейновъ, ограниченныхъ стѣнами или выстланными откосами, глуб. 2,5—3,5 метр. или же перекрываются сводами, для предохраненія ихъ отъ дѣйствія морозовъ и жаровъ и сопряженныхъ съ ними вредныхъ вліяній. Если вышеуказаннымъ путемъ все поперечное сѣченіе приспособлено для прохода воды, то ширина бассейна b опредѣляется изъ выраженія

$$b = \frac{Q}{u \,.\, h},$$

гдѣ u означаетъ скорость теченія въ секунду, h — глубину воды, а Q — количество очищаемой въ секунду воды въ кубич. метрахъ.

Длина бассейна l затѣмъ составляетъ функцію отъ скорости теченія и времени отстаиванія.

Если черезъ T обозначимъ число сутокъ [1]), въ теченіе которыхъ вода проходитъ отъ притока къ истоку, то

$$l = T \,.\, 86400 \; u.$$

Такимъ образомъ опредѣляются требуемые размѣры бассейна.

Въ общемъ, если черезъ k обозначимъ стоимость 1 кубич. метра каменной кладки, k'— стоимость выемки 1 куб. метра земли вмѣстѣ съ побочными работами и проч., то приблизительная стоимость открытаго отстойнаго бассейна будетъ

$$1)\quad K = k\left\{(sbl + w\left[2\,(h+s)\,b + 2\,(h+s)\,(l+2w)\right]\right\} + k'\,(h+s)\,(b+2\,w)\,(l+2\,w),$$

гдѣ s означаетъ толщину подошвы, а w—толщину боковыхъ стѣнъ бассейна.

Отношеніе между b и l для наименьшей общей стоимости бассейна опредѣляется изъ ур.

$$\frac{dK}{db} = 0 = \frac{dK}{dl}$$

Это имѣетъ мѣсто при $l = b$.

[1]) Сутки = 24 час. = 86400 секунд.

Если T означаетъ число дней, въ теченіе которыхъ должно произойти отстаиваніе воды, то, такъ какъ $b = \frac{Q}{uh}$ и $l = T.\ 86400\ u$, при $l = b$ получаемъ

$$2)\ T = \frac{Q}{86400\ h\ u^2}.$$

Такимъ образомъ время отстаиванія, при наиболѣе благопріятныхъ условіяхъ наименьшей стоимости, будетъ прямо пропорціонально количеству очищаемой воды и обратно пропорціонально глубинѣ бассейна и квадрату скорости теченія.

Отстойные бассейны отъ времени до времени должны очищаться; поэтому для безпрерывной работы бассейнъ долженъ быть раздѣленъ на особыя отдѣленія, чтобы при чисткѣ его не произошелъ перерывъ работы. Такимъ образомъ все отстойное сооруженіе должно состоять по меньшей мѣрѣ изъ двухъ бассейновъ; при нѣкоторыхъ, впрочемъ, обстоятельствахъ можетъ оказаться болѣе выгоднымъ устройство бо́льшаго числа бассейновъ. Сравнительная стоимость удаленія осадка путемъ вычерпыванія и отвоза и путемъ энергичной промывки зависитъ отъ мѣстныхъ условій. Если отстойные бассейны непосредственно соединены съ доставляющей воду рѣкой, то вслѣдствіе значительной глубины бассейна промывка его будетъ затруднительнѣе, нежели въ случаѣ провода воды къ бассейну путемъ искусственнаго ея поднятія.

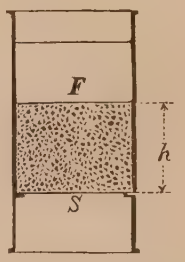
Сообразуясь со всѣми обстоятельствами, можно остановиться на сводчатыхъ или какихъ-либо другихъ закрытыхъ бассейнахъ въ томъ случаѣ, когда зимніе морозы вызываютъ нѣкоторыя затрудненія. Въ этихъ случаяхъ пролетъ свода или вообще покрытія бываетъ ограниченъ опредѣленными предѣлами, причемъ не всегда оказывается возможнымъ сдѣлать b=l. Тогда для опредѣленія наименьшей стоимости должны быть произведены дальнѣйшія изслѣдованія.

Опытъ показываетъ, что примѣненіемъ отстойныхъ бассейновъ не сберегается площадь фильтра; послѣдняя обусловливается исключительно только содержащимися въ фильтруемой водѣ органическими и организированными веществами, а также и тонкими взвѣшенными составными частями воды, образующими въ ней муть; хотя эти вещества въ большихъ сборныхъ прудахъ и озерахъ по истеченіи болѣе или менѣе продолжительнаго времени осѣдаютъ, но въ обыкновенныхъ бассейнахъ не могутъ осѣсть въ теченіе одного или двухъ дней. Такимъ образомъ здѣсь сберегается только частая чистка фильтровъ, неизбѣжная въ томъ случаѣ, когда на послѣднихъ отлагаются и болѣе крупныя подвѣшенныя примѣси, которыя могутъ быть удалены предварительнымъ отстаиваніемъ воды; на это обстоятельство необходимо обратить вниманіе при исчисленіи сравнительной стоимости. Вообще отстаиваніе воды тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ больше крупныхъ песчаныхъ составныхъ частей содержится въ мути; оно оказывается менѣе полезнымъ, если муть состоитъ преимущественно изъ глинистыхъ и илистыхъ частицъ.

Фильтрованіе черезъ песокъ. Песчаный фильтръ служитъ для быстраго удаленія мелкихъ примѣсей, образующихъ муть въ водѣ, которая послѣ прохода черезъ фильтръ выпускается совершенно чистой на видъ и прозрачной. Кромѣ того, песчаный фильтръ задерживаетъ также тонкія растительныя волокна и мелкіе растительные и животные организмы, содержащіеся въ водѣ въ болѣе или менѣе значительныхъ количествахъ во всякое время года, а удаленіе этого рода нечистотъ одинаково важно, какъ и рѣзче бросающееся въ глаза удаленіе мути.

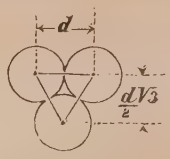
Матеріалъ, употребляемый для фильтрованія въ крупныхъ размѣрахъ, состоитъ изъ песку, гравія и галекъ; толщина фильтрующаго слоя или постели фильтра обыкновенно колеблется между 1,2 и 2,5 метр. Съ каждаго фильтра по истеченіи болѣе или менѣе короткаго времени, въ зависимости отъ свойствъ фильтруемой воды, долженъ быть очищенъ и удаленъ осадокъ, образующійся на поверхности песку. При чисткѣ одного бассейна, другой или нѣсколько другихъ бассейновъ должны находиться въ распоряженіи для фильтрованія воды, требуемой для безпрерывнаго водоснабженія. Отсюда видно, что, при условіи необходимости временнаго изъятія одного только фильтра, вся фильтрующая площадь можетъ быть тѣмъ меньше, чѣмъ меньше отдѣльные фильтрующіе бассейны, при данной производительности фильтра. Такъ, напримѣръ, если имѣется 4 фильтра, то изъ нихъ 3 должны быть въ состояніи производить полную работу; если имѣется 7 фильтровъ, то вся работа должна производиться 6 фильтрами и т. д. Если по даннымъ обстоятельствамъ требуется изъятіе изъ работы двухъ фильтровъ, то площадь остальныхъ должна быть достаточна для нормальной работы, и т. д. Вообще, преимущественно при открытыхъ фильтрахъ, всегда слѣдуетъ выбирать большую фильтрующую площадь, если желаютъ обезпечить себя отъ всякихъ случайностей при работѣ.

Сущность фильтрованія состоитъ въ томъ, что содержащіяся въ мутной водѣ примѣси осаждаются на образуемой фильтрующимъ матеріаломъ поверхности и пристаютъ къ этой поверхности. Опытъ показалъ, что подобное выдѣленіе мути можетъ происходить тогда, когда во все продолженіе выдѣленія мути скорость воды не превосходитъ весьма малой величины, и когда проходимые мутной водою каналы меньше поперечныхъ сѣченій тѣхъ маленькихъ тѣлъ, которыя образуютъ муть. Выдѣленія послѣдней категоріи всегда происходятъ на наружной плоскости постели фильтра, между тѣмъ какъ перваго рода выдѣленія происходятъ на внутреннихъ поверхностяхъ фильтрующаго матеріала; такимъ образомъ расположеніе послѣднихъ весьма существенно зависитъ отъ свойства мути въ фильтруемой водѣ.



Фиг. 115.

Для яснаго представленія объ явленіи фильтрованія вообразимъ себѣ идеальный песчаный фильтръ, отдѣльныя зерна котораго представляютъ собой шары одинаковаго между собой діаметра. Пусть фильтръ имѣетъ прямоугольную площадь $F=ab$, а песчаные шары насыпаны на высотѣ h надъ сѣткой S (фиг. 115). Отверстіе для прохода мутной воды во внутрь фильтра опредѣляется вычисленіемъ промежутковъ между отдѣльными шарами, расположенными на поверхности фильтра F. Такъ какъ F представляетъ собой прямоугольникъ длиной a и шир. b, то по соображенію съ фиг. 116, по длинѣ его можетъ помѣститься $\frac{a}{d}$ шаровъ, а по ширинѣ $\frac{2b}{\sqrt{3}\,d}$, такъ что на всей



Фиг. 116.

площади помѣстится шаровъ $\frac{2ab}{\sqrt{3}\,d^2}$, гдѣ d означаетъ діаметръ песчанаго шарика. Отсюда число шариковъ на площади F будетъ $m = \frac{1{,}15ab}{d^2} = 1{,}15\ \frac{F}{d^2}$.

Если, наприм., F = 1 кв. метр., а діаметръ шарика d = 0,0005 метр. (какъ въ случаѣ мелкаго песку), то m = 4600000, т. е. на 1 кв. метрѣ расположится почти 5 милліоновъ такихъ песчинокъ. Проведя горизонтальную плоскость разрѣза черезъ большіе круги этихъ шаровъ получимъ площадь, черезъ которую вода въ фильтръ попасть не можетъ, т. е. площадь, замкнутую непроницаемыми шарами; вычитая эту площадь изъ всей площади фильтра F, получимъ наименьшую впускную площадь для мутной воды. Общая площадь большихъ круговъ m шариковъ, расположенныхъ по площади F, будетъ $^1/_4\ m\pi d^2$, которая равна

3) $c = {}^1/_4\ (1{,}15\,.\,F.\ 3{,}14) = 0{,}9\ F.$

Такимъ образомъ для впуска воды служитъ площадь $F - 0{,}9F = 0{,}1\ F$, независимая отъ діаметра шариковъ. Но площадь каждаго отдѣльнаго промежутка составляетъ $0{,}1F : 2\ m = 0{,}04\ d^2$, слѣд. зависитъ исключительно только отъ діаметра шариковъ, какъ это непосредственно видно изъ фиг. 116. Для приведеннаго выше діаметра шариковъ въ 0,0005 метр. каждый отдѣльный промежутокъ даетъ отверстіе $0{,}04.\ 0{,}0005^2 = 0{,}00000001$ кв. метр.; всѣ тѣла, образующія муть въ водѣ и имѣющія поперечное сѣченіе больше 0,01 квадр. милим., раньше всего задержатся на внѣшней площади F.

Такимъ образомъ вполнѣ естественно, что въ случаѣ песчанаго фильтра съ однородной величиной зеренъ наиболѣе крупныя примѣси должны скопляться на впускной площади F, что въ дѣйствительности и подтверждается наблюденіями.

Дальнѣйшимъ простымъ вычисленіемъ можно опредѣлить поверхность всѣхъ песчаныхъ зеренъ, содержащихся въ объемѣ Fh. Число располагающихся на площади F шариковъ повторяется столько разъ, сколько разъ высота тетраэдра $d\sqrt{\frac{2}{3}}$ содержится въ высотѣ h; называя число шариковъ въ объемѣ Fh черезъ n, получаемъ $n = 1{,}15\ \frac{F}{d^2}\ \frac{h\sqrt{3}}{d\sqrt{2}} = 1{,}41\ \frac{Fh}{d^3}$.

Отсюда получаемъ поверхность всѣхъ песчинокъ:

$$4)\quad A = n.\ \pi d^2 = 4{,}44\ \frac{Fh}{d}.$$

Для принятаго нами діаметра песчинокъ 0,0005 метр. при $F = 1$ квадр. метр. и при $h = 1$ метр. величина n будетъ $= 11.280.000.000$, и $A = 8880$ кв. метр. Такимъ образомъ осадокъ мути послѣ проникания его черезъ верхній слой шариковъ можетъ распредѣляться болѣе чѣмъ на 11 милліардовъ песчинокъ и отлагаться на поверхности въ 8880 кв. метр. Не слѣдуетъ поражаться этимъ громаднымъ числомъ, имѣя въ виду, что замѣчаемое нами отложеніе происходитъ на весьма небольшой части песчаныхъ зеренъ.

Промежутокъ между всѣми песчинками въ пространствѣ Fh опредѣляется вычитаніемъ ихъ объема изъ объема Fh. Объемъ песчинокъ или песчаныхъ шариковъ составляетъ $\frac{1}{6}\ (n\pi d^3) = \frac{1}{6}\ (1{,}41\pi Fh) = 0{,}73\ Fh$, такъ что занятый водой объемъ будетъ $0{,}27\ Fh$. При $h = 1$ метр. этотъ объемъ составляетъ $0{,}27\ F$, и эта величина представляетъ собой среднюю величину проницаемаго для воды поперечнаго сѣченія; она приблизительно втрое больше наиболѣе тѣснаго сѣченія для впуска воды (впускной площади), которое, какъ мы видѣли выше, составляетъ $0{,}1\ F$.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что теченіе мутной воды между песчаными шариками происходитъ съ измѣняющейся скоростью; въ наиболѣе тѣсномъ поперечномъ сѣченіи эта скорость достигаетъ наибольшей своей величины, вслѣдствіе чего въ этихъ мѣстахъ отлагается наименьшее количество мути. Наибольшее количество мути набирается во впадинахъ или въ углубленіяхъ, на шаровыхъ поверхностяхъ, между двумя слѣдующими другъ за другомъ по вертикальному направленію наименьшими сѣченіями прохода, и такъ какъ при этомъ происходитъ все большее и большее очищеніе протекающей сверху внизъ воды, то вблизи поверхности фильтра образуется наибольшее количество осадковъ.

Вслѣдствіе безпрерывнаго приставанія неизмѣримо малыхъ илистыхъ частицъ, пути для прохода мутной воды постепенно уменьшаются и, наконецъ, достигаютъ такой величины, при которой даже подъ сильнымъ внѣшнимъ давленіемъ протекаетъ весьма мало воды; поэтому по истеченіи нѣкотораго времени верхній слой фильтра до глубины нѣсколькихъ сантиметровъ подъ верхней его плоскостью приходитъ въ такое состояніе, которое называютъ „засореніемъ или закупоркой фильтра“. Это состояніе происходитъ исключительно отъ постепеннаго закрыванія впускныхъ отверстій на верхней плоскости фильтра, при чемъ оно не распространяется въ той же мѣрѣ на болѣе значительную глубину фильтра. Начиная съ момента начала уменьшенія пропускныхъ отверстій и до окончательнаго ихъ засоренія или закупориванія, на поверхности фильтра осаждаются и такія взвѣшенныя примѣси, которыя по своему объему даже меньше наиболѣе тѣсныхъ промежутковъ между песчинками. Такимъ образомъ фильтрованіе бываетъ тѣмъ совершеннѣе, чѣмъ фильтръ ближе къ состоянію засоренія; другими словами, при свѣжемъ фильтрѣ происходитъ наименѣе совершенное фильтрованіе.

Фильтръ тѣмъ легче можетъ содержаться въ чистотѣ, чѣмъ крупнѣе содержащіяся въ мути частицы; если, напр., поперечное сѣченіе каждой изъ этихъ частицъ больше остающихся между пѣсчинками промежутковъ для прохода воды, то онѣ вообще не могутъ поступать во внутрь фильтра, а должны оставаться на верхней его плоскости. Въ подобныхъ случаяхъ скорость протекающей между отдѣльными песчинками воды можетъ увеличиться безъ ущерба прозрачности и чистотѣ выходящей изъ фильтра воды; при этомъ главнымъ образомъ засоряется верхній слой песку, между тѣмъ какъ внутренность фильтра остается совершенно чистой. Если же механическія примѣси мутной воды состоятъ изъ чрезвычайно мелкихъ частицъ, то въ началѣ фильтрованія доступъ ихъ ко внутренности фильтра происходитъ безъ всякихъ затрудненій, и засореніе верхней плоскости фильтра происходитъ въ слабой степени, болѣе простираясь въ глубину; при этомъ глубина засоренія будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость протока воды, или чѣмъ меньше времени вода имѣетъ для отложенія своей мути на поверхностяхъ песчинокъ уже въ верхнихъ слояхъ фильтра.

Отсюда мы видимъ, что всѣ воды, характеризующіяся весьма мелкой и тонкой мутью, какъ это и бываетъ въ большей части случаевъ, современемъ сильно засоряютъ внутренность фильтра на всю его глубину. Такъ какъ частицы мути необыкновенно малы, то и засореніе фильтра должно происходить безпрерывно. Дѣйствительно, ни одинъ свѣжеустроенный песчаный фильтръ не даетъ совершенно чистой воды, сначала очищая воду тѣмъ меньше, чѣмъ крупнѣе зерна употребленнаго песку, т. е. чѣмъ больше существующіе между отдѣльными песчинками промежутки. Наоборотъ, послѣ нѣкотораго времени работы фильтра муть въ водѣ уничтожается; начиная съ этого момента и до полнаго засоренія фильтра, вода получается совершенно прозрачная.

Причины этого явленія были многократно изслѣдованы различными авторами. Пифке полагаетъ, что свойство совершенно очищать воду сообщается песку образующими слизь бактеріями. По его мнѣнію, эти бактеріи облѣпляютъ песчаныя зерна студенистой массой, вслѣдствіе чего они становятся липкими. Послѣднее, пріобрѣтаемое песчаными зернами, свойство даетъ имъ возможность удерживать мельчайшія частицы мути и ила, а также плавающія въ водѣ бактеріи и ихъ зародыши. По наблюденіямъ Пифке песокъ не можетъ чисто фильтровать безъ содѣйствія микроорганизмовъ [1]).

Въ противорѣчіи съ этимъ мнѣніемъ стоятъ наблюденія химическихъ заводовъ, показывающія, что мутныя жидкости, въ составъ которыхъ бактеріи не входятъ (кислоты), вполнѣ очищаются пескомъ также путемъ отложенія всѣхъ нечистотъ въ верхнемъ слоѣ песку. Образующаяся въ этихъ случаяхъ липкость песчаныхъ зеренъ не можетъ имѣть своей причиной слизь отъ бактерій. По нашему мнѣнію, отложеніе мелкихъ частицъ мути въ этомъ случаѣ можетъ быть объяснено механическимъ процессомъ—потерей энергіи при столкновеніи, а шероховатость песчаныхъ зеренъ дѣлаетъ ихъ липкими. При всѣхъ обстоятельствахъ указанная способность песчанаго фильтра задерживать въ верхнихъ своихъ слояхъ микробы и мелкія частицы мути возростаетъ съ усиленіемъ липкости зеренъ.

На этомъ основаніи слѣдуетъ по возможности содѣйствовать образованію слизи въ верхнихъ песчаныхъ слояхъ фильтра. Эта цѣль, какъ показали опыты, достигается тѣмъ, что вся постель фильтра снизу до верхнихъ слоевъ заполняется водой, послѣ чего въ фильтръ уже пускается назначенная къ очисткѣ вода. Если эта вода въ теченіе нѣкотораго времени остается въ неподвижномъ состояніи на фильтрѣ, то въ верхнихъ слояхъ происходитъ образованіе слизи, достаточное для полученія чистаго фильтрата.

Предѣлы скорости фильтрованія опредѣляются тѣмъ моментомъ, когда прилипаніе упомянутыхъ весьма малыхъ взвѣшенныхъ частицъ къ липкимъ песчанымъ зернамъ преодолѣвается энергіей движенія этихъ частицъ. Само собой разумѣется, что и въ этомъ отношеніи надлежащія указанія получаются путемъ опыта; при этомъ весьма важное значеніе имѣетъ качество употребляемаго песку и составъ фильтруемой воды.

Въ Цюрихѣ, гдѣ совершенно чистая озерная вода подвергается фильтрованію для выдѣленія изъ нея микроскопическихъ организмовъ и бактерій, черезъ 1 кв. метръ фильтрующей

---

[1]) Piefke, C. Die Prinzipien der Reinwassergewinnung mittels Sandfiltration. Berlin. 1887.

Pietke, C. Aphorismen über Wasserversorgung. Zeitschr. für Hygiene von Koch und Flügge т. 7, стр. 128. 1889.

плоскости въ 24 часа можетъ пройти отъ 3 до 12 куб. метр. воды безъ замѣтной разницы въ продуктѣ фильтрованія. Можно принять за достовѣрное, что озерная вода при фильтрованіи, въ предѣлахъ этихъ скоростей, выдѣляетъ всѣ содержащіеся въ ней зародыши грибковъ на верхнемъ песчаномъ слоѣ фильтра, исключительно служащемъ для фильтрованія. Пифке принимаетъ, что для совершеннаго освобожденія фильтруемой воды отъ зародышей грибковъ скорость фильтрованія не должна превышать 30 милим. въ часъ (0,72 куб. метр. воды на 1 кв. метръ поверхности фильтра въ 24 часа). Различные другіе гигіенисты, какъ Кохъ, Плагге, Проскауеръ и др., допускаютъ проходъ 3 куб. метр. воды на каждый кв. метръ фильтрующей плоскости въ 24 часа. По мнѣнію Линдлея, слѣдуетъ держаться въ предѣлахъ между 1,8 и 3 куб. метр. на 1 кв. метръ фильтрующей плоскости въ сутки, или въ среднемъ допускать 2,4 куб. метр. въ сутки на 1 кв. метръ фильтрующей плоскости.

Фильтръ обыкновенно устраивается такъ, что слой мелкаго песку, толщиною отъ 60 до 120 сантиметровъ, укладывается на подстилочные слои гравія и камня, расположенные по постепенно увеличивающейся книзу крупности зеренъ, въ послѣдовательномъ порядкѣ слоевъ: крупнаго песку, мелкаго гравія, крупнаго гравія, хрящей, галекъ и т. д. Съ верхняго песчанаго слоя отложенія удаляются отъ времени до времени сниманіемъ тонкаго слоя песка; это послѣдовательное сниманіе песку въ крайнемъ случаѣ можетъ продолжаться лишь до тѣхъ поръ, пока остающійся слой песку имѣетъ еще толщину около 30 сантиметровъ [1]). Затѣмъ весь снятый слой песку сразу замѣняется свѣжимъ пескомъ. Въ фильтрахъ водоснабженія Штуттгарта свѣжій песокъ кладется тогда, когда толщина остающагося слоя еще составляетъ 50 сантиметровъ. При тщательномъ уходѣ за фильтромъ, преимущественно если его не заставляютъ сильно работать тотчасъ же послѣ заполненія его свѣжимъ пескомъ или послѣ снятія нѣкотораго слоя песку, и при правильномъ выборѣ песку, содержащіяся въ водѣ нечистоты весьма мало проникаютъ въ части фильтра, лежащія подъ верхнимъ слоемъ песку. Проходитъ весьма долгое время, пока и эти нижніе слои потребуютъ замѣны свѣжими; тѣмъ не менѣе подобная замѣна и нижнихъ слоевъ неизбѣжна по истеченіи нѣкотораго времени, какъ напримѣръ черезъ 15—20 лѣтъ употребленія фильтра.

Что касается выбора песку для наиболѣе важнаго верхняго слоя фильтра, то и здѣсь необходимо принять въ соображеніе мѣстныя условія. Въ общемъ можно сказать, что съ уменьшеніемъ величины зернъ усиливается способность песку къ очищенію воды; но вслѣдствіе слизи, образующейся при фильтрованіи на верхнемъ слоѣ песку, во многихъ случаяхъ возможно полученіе совершенно прозрачной и свободной отъ зародышей воды и при болѣе крупнозернистомъ пескѣ.

Во всякомъ случаѣ всегда необходимо работать съ такимъ пескомъ, мѣсто добыванія котораго расположено не слишкомъ далеко отъ мѣста фильтрованія; въ подобномъ случаѣ между всѣми сортами имѣющагося въ распоряженіи песку всегда найдется одинъ, дающій наиболѣе благопріятные результаты. Этотъ сортъ песку долженъ быть отысканъ путемъ испытанія.

Эта задача сводится къ рѣшенію слѣдующихъ вопросовъ:

1) Годенъ ли вообще данный песокъ для очищенія мутной воды даннаго опредѣленнаго состава?

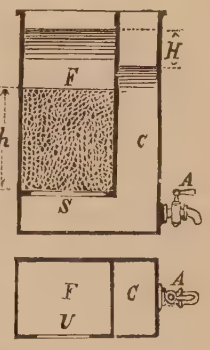
2) При какой высотѣ напора происходитъ наиболѣе совершенное очищеніе воды?

3) Какая величина фильтрующей поверхности требуется для фильтрованія опредѣленнаго количества воды?

[1]) Jahresbericht über die Wasserversorgung von Zürich und Umgebung pro 1889. Zürich. 1898. Стр. 42.

Вопросы 2 и 3 должны быть разсмотрѣны лишь тогда, когда вопросъ 1 разрѣшенъ въ утвердительномъ смыслѣ. Рѣшеніе этихъ вопросовъ производится путемъ весьма простого опыта. Изъ дерева или желѣза изготовляется ящикъ, какъ показано на фиг. 117; въ отдѣленіе F этого ящика впускается мутная вода, а изъ отдѣленія C черезъ кранъ A выпускается отфильтрованная вода. Отдѣленіе F снабжено водосливомъ U достаточной ширины для полученія приблизительно постоянной высоты воды въ этомъ отдѣленіи; въ этомъ отдѣленіи F находится испытуемый фильтрующій матеріалъ, расположенный на сѣткѣ S.

При выпусканіи воды изъ крана A уровень воды въ отдѣленіи C понижается, и величина этого пониженія H будетъ пропорціональна той работѣ, которая производится водой при ея прохожденіи черезъ фильтръ. Для опредѣленной степени мутности воды въ отдѣленіи F существуетъ опредѣленное соотвѣтственное положеніе крана A, при которомъ фильтруемая вода достигаетъ желаемой степени чистоты и прозрачности; при этомъ положеніи крана изъ отдѣленія C вытекаетъ опредѣленное количество воды Q, измѣреніемъ котораго разрѣшаются упомянутые вопросы.



Фиг. 117.

Рѣшеніе вопроса 1 получается исключительно только опредѣленіемъ вообще возможности полученія прозрачной воды изъ крана A. Согласно вышесказанному, мы путемъ наблюденій находимъ, что эта возможность полученія прозрачной воды почти всегда настаетъ только послѣ образованія слизи на верхнемъ слоѣ фильтра.

Вопросъ 2 разрѣшается исключительно измѣреніемъ разности высотъ уровней воды въ отдѣленіи F и въ отдѣленіи C. При этомъ слѣдуетъ тщательно наблюдать за измѣненіемъ H и Q съ увеличеніемъ отложенія ила на фильтрѣ.

Скорость движенія воды черезъ фильтрующій песокъ можетъ быть принята пропорціональной высотѣ напора H и обратно пропорціональной сопротивленію въ фильтрѣ. Послѣднее, вслѣдствіе отложенія ила, возростаетъ вмѣстѣ со временемъ t; такимъ образомъ при постепенно засоряющемся фильтрѣ должна существовать зависимость, выражаемая слѣдующей эмпирической формулой:

$$5) \qquad u = \frac{H}{a + b\,t},$$

гдѣ a и b означаютъ полученные путемъ опыта коэффиціенты. Значеніе a, какъ будетъ указано ниже (см. отд. IV, гл. 20), равно $\frac{h}{k}$.

Такъ какъ отложеніе ила постоянно уменьшаетъ водопропускающее поперечное сѣченіе F, то послѣднее можетъ быть принято

$$6) \qquad F = F_0\,(1 - c\,t),$$

гдѣ F_0 обозначаетъ начальное водопропускающее сѣченіе, соотвѣтствующее $t = o$, а c — практическій коэффиціентъ. Отсюда количество профильтровываемой воды будетъ

$$7) \qquad Q = Fu = \frac{F_0\,H\,(1 - c\,t)}{a + b\,t}.$$

Это количество Q постепенно уменьшается и достигаетъ наименьшей своей величины при наибольшей допускаемой величинѣ H (см. ниже); затѣмъ фильтръ долженъ быть очищенъ отъ ила, послѣ чего начинается новый періодъ фильтрованія, и т. д. Практическіе коэффиціенты b и c опредѣляются путемъ наблюденій при опредѣленныхъ условіяхъ; значенія этихъ коэффиціентовъ измѣняются въ зависимости отъ большаго или меньшаго содержанія мути въ водѣ.

При рѣшеніи вопроса 3 весьма важно изслѣдовать взаимное соотношеніе между величинами H и Q при различныхъ стадіяхъ проницаемости фильтра для опредѣленія истиннаго средняго значенія Q при нормальной высотѣ напора. Искомая величина фильтра для опредѣленнаго количества воды опредѣляется по этому среднему значенію путемъ обыкновенной пропорціи.

Техническія подробности устройства песчаныхъ фильтровъ. Выше мы указали на цѣли, достигаемыя фильтрованіемъ воды черезъ песокъ, на общій ходъ дѣйствія фильтрованія и на сущность его. На основаніи

результатовъ вычисленій и наблюденій мы указали нѣкоторыя исходныя точки для опредѣленія скорости фильтрованія, для общаго устройства постели фильтра и для выбора фильтрующаго песка. Теперь разсмотримъ подробно тѣ техническія условія, которыя должны быть выполнены для достиженія нормальнаго хода, хотя простого по существу, но весьма чувствительнаго, процесса фильтрованія черезъ песокъ.

При фильтрованіи воды мы стремимся къ полному очищенію ея отъ мути и къ задержанію всѣхъ зародышей. Такъ какъ это дѣйствіе фильтра наступаетъ лишь съ того момента, когда верхній слой песку пріобрѣлъ достаточную липкость, то фильтръ не долженъ быть пущенъ въ работу до наступленія этого момента Необходимо также тщательно наблюдать за тѣмъ, чтобы во время фильтрованія не произошло нарушенія цѣлости верхняго песчанаго слоя, такъ какъ въ подобномъ случаѣ черезъ фильтръ могутъ проникать различные зародыши и частицы мути, увлекаемые затѣмъ въ сборникъ чистой воды.

Нарушеніе цѣлости верхняго слоя можетъ произойти отъ различныхъ причинъ. Оно всегда почти неизбѣжно въ тѣхъ случаяхъ, когда фильтрованіе происходитъ неравномѣрно, т. е. когда скорость прохода воды бываетъ различна; поэтому прежде всего необходимо по возможности предупреждать неравномѣрность фильтрованія. Затѣмъ нарушеніе верхняго слоя происходитъ и тогда, когда скорость фильтрованія, хотя равномѣрна, но сама по себѣ настолько велика, что липкость зернъ песку оказывается недостаточной для задержанія всѣхъ зародышей и частицъ мути; поэтому въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ скорость не должна превышать средней скорости, обусловливаемой свойствами фильтрующаго матеріала и качествами фильтруемой воды. Дальнѣйшія затѣмъ причины нарушеній цѣлости верхняго слоя кроются въ подыманіи воздушныхъ пузырьковъ, въ вскапываніи и прободеніи слоя различными мелкими водяными животными (червями, рыбами и пр.), а также и въ нарушеніи связи между частицами песчанаго слоя отъ забрасываемыхъ (умышленно или нечаянно) въ фильтръ камней и другихъ быстро тонущихъ тѣлъ.

Чѣмъ спокойнѣе остается верхній слой фильтра, и чѣмъ тщательнѣе вода предохраняется отъ всякихъ условій, нарушающихъ спокойное ея состояніе, тѣмъ успѣшнѣе будетъ происходить механическій процессъ отложенія примѣсей.

Но удовлетвореніе этимъ условіямъ встрѣчаетъ себѣ нѣкоторыя препятствія. Прежде всего скорость прохода воды и равномѣрность фильтрованія нарушаются разнообразіемъ самихъ нечистотъ, примѣшанныхъ къ находящейся надъ фильтромъ грязной водѣ, а также и постоянно измѣняющимися внѣшними свойствами притекающей къ фильтру рѣчной воды и, наконецъ, неравномѣрнымъ распредѣленіемъ загрязненій въ различныхъ расположенныхъ надъ фильтромъ слояхъ воды.

Всѣ эти неблагопріятныя условія могутъ быть въ значительной степени устранены предварительнымъ отстаиваніемъ воды, которое такимъ образомъ является весьма полезнымъ. Если же фильтрованіе происходитъ безъ предварительнаго отстаиванія, то слѣдуетъ, по крайней мѣрѣ, пропускать притекающую къ фильтру грязную воду черезъ рѣшетку, сѣтку или слой камней для освобожденія ея отъ болѣе крупныхъ примѣсей, рыбъ и т. под., Кромѣ того для достиженія равномѣрности и правильности фильтрованія необходимо также озаботиться устройствомъ соотвѣтствующаго даннымъ условіямъ спуска чистой

профильтрованной воды, а также и предупрежденіемъ внѣшнихъ нарушеній правильнаго хода фильтрованія.

Приведенныя общія условія могутъ быть выполнены слѣдующими путями:

1. правильнымъ устройствомъ постели фильтра;
2. правильнымъ устройствомъ стока чистой воды;
3. достиженіемъ и поддерживаніемъ допускаемой нормальной скорости прохода воды черезъ фильтръ;
4. надлежащимъ провѣтриваніемъ постели фильтра;
5. устраненіемъ внѣшнихъ вліяній (покрытіемъ фильтра, устройствомъ надъ нимъ сводовъ и пр.);
6. правильнымъ веденіемъ всего процесса.

Разсмотримъ теперь отдѣльно указанные способы, которыми могутъ быть достигнуты вышеупомянутые результаты, въ приведенномъ послѣдовательномъ порядкѣ.

1. Устройство постели фильтра. Выше мы указали, въ какомъ послѣдовательномъ порядкѣ должны быть уложены слои мелкаго и крупнаго песку, мелкаго и крупнаго гравія, хряща и галекъ въ постели фильтра. Величина зеренъ должна равномѣрно увеличиваться сверху книзу такъ, чтобы каждый отдѣльный слой могъ поддерживать непосредственно надъ нимъ лежащій слой. Это условіе будетъ удовлетворено тогда, когда промежутки между зернами въ каждомъ ниже лежащемъ слоѣ будутъ меньше діаметра зеренъ непосредственно надъ нимъ лежащаго слоя.

Сообразуясь съ чертежомъ (фиг. 116), мы теоретически можемъ точно выразить это условіе тѣмъ, что діаметръ каждаго вышележащаго зерна долженъ быть больше діаметра круга, вписаннаго въ пространство между тремя соприкасающимися другъ съ другомъ большими кругами шаровъ нижележащаго слоя. Если черезъ d обозначимъ діаметръ зерна ниже лежащаго матеріала, а черезъ d_1 — діаметръ зерна верхняго слоя, то при всѣхъ обстоятельствахъ это условіе будетъ выполнено, если $\frac{\pi d_1^2}{4} = 0{,}04\, d^2$, т. е. когда площадь большого круга вышележащаго шара равна наименьшей площади промежутка между тремя соприкасающимися большими кругами нижележащихъ шаровъ. Отсюда слѣдуетъ:

$$8) \qquad d = 4{,}44\, d_1.$$

Такимъ образомъ, если мелкій песокъ фильтра имѣетъ зерна діам. 0,5 до 1 милим., то діаметръ зеренъ слѣдующаго за нимъ слоя долженъ быть отъ 2,2 до 4,4 милим. Слѣдующій затѣмъ слой гравія долженъ имѣть зерна діам. отъ 10 до 20 милим. и т. д. Собственно фильтрованіе должно производиться только въ верхнемъ песчаномъ слоѣ фильтра; нижележащіе же слои служатъ исключительно для поддерживанія этого фильтрующаго слоя.

То обстоятельство, что въ большинствѣ примѣняемыхъ въ практикѣ фильтровъ фильтрующій слой дѣлается толщ. 0,60—1,20 метр., не можетъ считаться вполнѣ точнымъ указаніемъ этой толщины и для тѣхъ случаевъ, когда не желаютъ удовольствоваться тѣмъ фактомъ, что эта толщина слоя оказалась вполнѣ достаточной во всѣхъ случаяхъ практики. Не подлежитъ сомнѣнію и вполнѣ естественно, что фильтрованіе будетъ тѣмъ совершеннѣе, чѣмъ толще будетъ фильтрующій слой. Даже и въ томъ случаѣ, когда фильтрованіемъ всѣ нечистоты отлагаются въ верхнихъ слояхъ песку — что, строго говоря, происходитъ только приблизительно—наибольшая часть напора расходуется на движеніе воды черезъ песчаную постель фильтра. Если высота напора не точно регулирована, колеблясь въ извѣстныхъ предѣлахъ, то при болѣе толстомъ слоѣ песку она меньше будетъ вліять на скорость прохода воды, нежели при тонкомъ песчаномъ слоѣ. Но такъ какъ, кромѣ того, возможно равномѣрная скорость теченія воды черезъ фильтръ улучшаетъ качества фильтрата, то и съ этой стороны всѣ преимущества остаются на сторонѣ болѣе толстаго слоя.

Безусловнымъ требованіемъ хорошаго фильтрованія является однородность зеренъ песку, какъ это было принято при теоретическомъ изслѣдованіи и практическихъ выводахъ. При пескѣ съ неоднородными зернами пространства между зернами большаго діаметра запол-

няются болѣе мелкими зернами; при безпрерывномъ движеніи воды эти мелкія зерна все больше и больше наплываютъ въ эти промежутки, вслѣдствіе чего фильтръ черезъ нѣкоторое время превращается въ непроницаемую массу. Песокъ съ однородными зернами, наоборотъ, остается всегда одинаково пористымъ и располагается приблизительно такъ, какъ масса одинаковой величины шаровъ.

Хорошій фильтрующій песокъ имѣетъ неправильный и неопрятный наружный видъ; само собой разумѣется, что онъ долженъ быть совершенно свободенъ отъ глинистыхъ примѣсей, и поэтому до употребленія песку въ дѣло онъ долженъ быть тщательно промытъ въ совершенно чистой водѣ.

Однородность зеренъ песку имѣетъ еще весьма важное значеніе въ томъ отношеніи, что вода не встрѣчаетъ въ одномъ мѣстѣ большаго сопротивленія проходу, чѣмъ въ другомъ. При неоднородности зеренъ въ фильтрѣ образуются отдѣльные дренажи, въ которыхъ скорость теченія воды бываетъ выше нормальной, вслѣдствіе чего песокъ увлекается внизъ и тѣмъ сильно нарушаетъ ходъ фильтраціи.

Относительно числа фильтрующихъ слоевъ выше приведены нами основныя исходныя точки зрѣнія. Наиболѣе цѣлесообразная площадь отдѣльной постели фильтра для большихъ водоснабженій, по мнѣнію Линдлея, составляетъ отъ 2000 до 3000 кв. метр. какъ для открытыхъ, такъ и для закрытыхъ фильтровъ. Для болѣе мелкихъ водоснабженій большей частью устраиваются значительно меньшія постели фильтровъ. Впрочемъ, величина, соотвѣтствующая наименьшей стоимости фильтра, можетъ быть опредѣлена аналитическимъ путемъ.

Если для бассейна фильтра имѣется въ распоряженіи площадь опредѣленной ширины b и неопредѣленной общей длины l, и фильтръ долженъ состоять изъ n отдѣленій, изъ которыхъ m отдѣленій служатъ запасными, то должна существовать слѣдующая зависимость:

$$9) \qquad \frac{n}{n-m} = \frac{b\,l}{A},$$

гдѣ A означаетъ безусловно необходимую площадь фильтра въ кв. метрахъ. Если бы фильтръ представлялъ собой одинъ бассейнъ, стоимость изготовленія котораго составляетъ k рублей на 1 кв. метръ площади фильтра, то стоимость всего фильтра составила бы $K_1 = k\,b\,l$ рублей. Если затѣмъ этотъ бассейнъ помощью поперечныхъ стѣнъ раздѣлимъ на n отдѣленій, то при подобномъ расположеніи къ стоимости K_1 должны быть прибавлены: стоимость (n—1) стѣнъ средней толщиной δ и сопряженные съ этимъ добавочные расходы на устройство шахты для чистой воды, задвижекъ, вытяжныхъ воздушныхъ трубъ, шлюзовыхъ спусковъ для опоражниванія и т. д., а также и увеличеніе общей площади фильтра, на величину $(n-1)\,b\,\delta$. вслѣдствіе устройства стѣнъ. Если стоимость устройства стѣнъ приведемъ къ стоимости одного погоннаго метра, которую вмѣстѣ съ побочными расходами обозначимъ черезъ k', то общая стоимость раздѣленнаго на n отдѣленій бассейна фильтра будетъ

$$K = k\,b\,l + k'\,b\ (n-1) + k\,b\ (n-1)\,\delta;$$

подставивъ сюда значеніе $b\,l$ изъ ур. 9, получимъ:

$$10) \qquad K = k\,A\,\frac{n}{n-m} + b\,(n-1)\,(k' + k\,\delta).$$

Общая стоимость будетъ имѣть наименьшую свою величину, когда количество n будетъ опредѣлено изъ уравненія

$$\frac{dK}{dn} = k\,A\frac{m}{(n-m)^2} + b\ (k' + k\,\delta) = 0,$$

откуда величина n будетъ

$$11) \qquad n = m + \sqrt{\frac{A\,k\,m}{b\,(k'+k\,\delta)}}.$$

Путемъ нѣкоторой варіаціи съ величиной b въ этой формулѣ легко изъ подкореннаго выраженія получить цѣлое число.

Высота уровня воды надъ фильтрующимъ слоемъ произвольна въ томъ отношеніи, что скорость фильтрованія обусловливается не этой высотой, а р а з н о с т ь ю в ы с о т ъ уровней воды надъ фильтромъ и въ бассейнѣ чистой воды. Эта высота въ практикѣ колеблется между 0,60 и 2,30 метр. Глубина воды надъ фильтромъ выбирается прежде всего въ зависимости отъ климата мѣстности. Если фильтръ подверженъ дѣйствію мороза, какъ это всегда имѣетъ мѣсто въ случаѣ не покрытыхъ сводами фильтровъ, то глубина воды дѣлается, по меньшей мѣрѣ, отъ 1 до 1,2 метр. Для предупрежденія нагрѣванія воды въ лѣтнее время эта глубина должна быть сдѣлана еще больше. Въ закрытыхъ фильтрахъ глубина воды можетъ

быть сдѣлана меньше. Вообще эта глубина ограничивается тѣмъ условіемъ, чтобы при наивысшемъ уровнѣ въ бассейнѣ чистой воды, еще оставался-бы наибольшій напоръ (около 0,60 до 0,80 метр.), необходимый для полученія нормальной фильтраціи; это обстоятельство прежде всего необходимо имѣть въ виду при разсчетѣ фильтра. Впрочемъ, высоту фильтра постоянно слѣдуетъ выбирать такъ, чтобы понижающійся днемъ уровень воды въ бассейнѣ чистой воды или въ отводномъ каналѣ могъ бы служить для опоражниванія, а повышающійся уровень воды въ немъ ночью могъ бы служить для наполненія фильтра, чѣмъ устраняется всякая потеря воды. Этимъ и опредѣляется точное положеніе уровня воды.

Подошва фильтра должна быть совершенно водонепроницаема, что иногда, преимущественно вблизи рѣкъ, вызываетъ значительныя затрудненія. Обыкновенно для этой цѣли примѣняется слой глины или бетона или обоихъ вмѣстѣ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для большей надежности надъ бетоннымъ или глинянымъ слоемъ укладывается нѣсколько рядовъ кирпича на цементномъ растворѣ.

Покрытія (сводчатыя) должны быть расположены, по меньшей мѣрѣ, на 2 метра выше наивысшаго уровня въ фильтрѣ, чтобы рабочіе вездѣ могъ удобно стоять на краю фильтра. Покрывающіе фильтръ своды рѣдко дѣлаются въ видѣ бочарныхъ сводовъ, а преимущественно въ видѣ крестовыхъ или парусныхъ сводовъ, опирающихся на цѣломъ рядѣ столбовъ; просвѣты въ сводахъ служатъ для доставленія фильтрамъ верхняго свѣта (напр., при чисткѣ) а также большей частью и для вентиляціи.

Въ перекрытыхъ Варшавскихъ фильтрахъ покрывающіе своды покоятся на гранитныхъ столбахъ и на наружныхъ стѣнахъ. Столбы упираются въ дно фильтра; производимое ими давленіе помощью обратныхъ подпружныхъ арокъ передается фундаменту фильтра; между арками помѣщены лотки изъ кирпича съ цементной оштукатуркой. Въ новыхъ Штутгартскихъ фильтрахъ подошва сдѣлана въ видѣ обратныхъ крестовыхъ сводовъ, ребра которыхъ направлены къ ребрамъ квадратныхъ столбовъ, служащихъ опорами для перекрывающихъ сводовъ.

Во всѣхъ случаяхъ плоскостямъ дна слѣдуетъ придавать нѣкоторый уклонъ къ главному сборному каналу для облегченія чистки и удобной промывки подошвы фильтра и для возможности совершеннаго опоражниванія фильтра.

Постель фильтра въ исключительныхъ только случаяхъ ограничивается съ боковъ выстланными откосами; въ нашемъ климатѣ при открытыхъ фильтрахъ необходимо устраивать нѣсколько наклонныя или совершенно вертикальныя стѣны изъ тесанаго камня до той высоты, которой достигаетъ ледяной покровъ зимой. При подобныхъ стѣнахъ ледяной покровъ можетъ быть легко пробитъ, что необходимо для дѣйствія фильтра; при этомъ ледъ отдѣляется отъ стѣнъ помощью скребковъ, чѣмъ въ большей или меньшей степени повреждаются стѣны фильтра. Небольшой скосъ или уклонъ плоскости наружной стѣны фильтра, а также и шероховатая поверхность стѣны имѣютъ нѣкоторое преимущество въ томъ отношеніи, что въ случаѣ гладкихъ вертикальныхъ плоскостей вода можетъ найти себѣ проходъ между песчаной постелью и плоскостью стѣны.

Чѣмъ меньше общая толщина или глубина постели фильтра, тѣмъ дешевле обходится начальное его устройство. Наименьшій размѣръ[1]) послѣдовательныхъ слоевъ, считая отъ воды къ подошвѣ фильтра, можетъ быть принятъ, какъ показано въ слѣдующей таблицѣ:

Высота воды	60 сантим.
Мелкій песокъ.	60 „
Крупный песокъ (съ зернами 3—4 милим.) . .	5 „
Мелкій гравій (съ зернами 10—20 милим.). . .	8 „
Болѣе крупный гравій (20—30 милл.).	12 „
Крупный гравій (около 60 милл.).	15 „
Булыжникъ.	20 „
Наименьшая глубина подошвы фильтра подъ уровнемъ воды =	180 сантим.

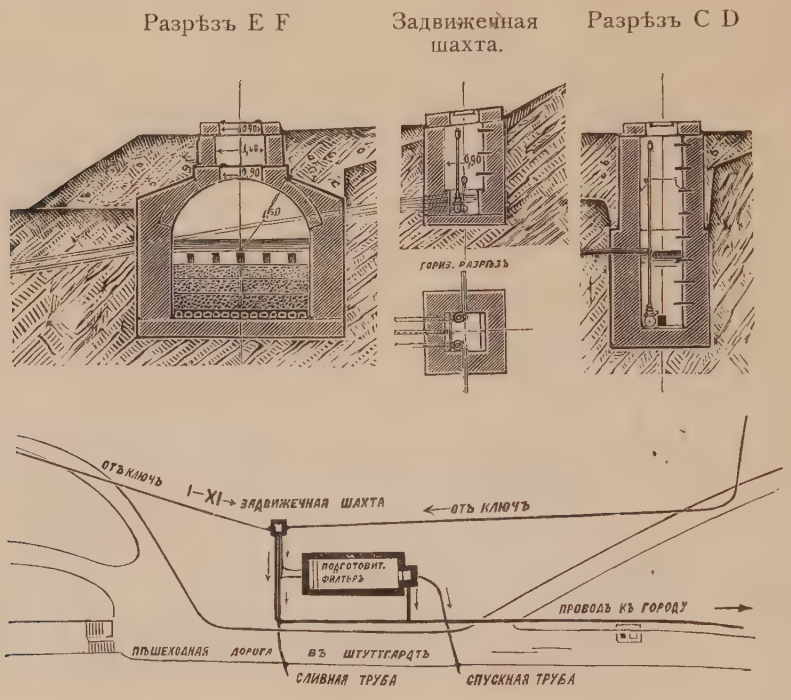
2. Стокъ чистой воды. Движеніе воды въ фильтрѣ вызывается разностью уровней воды въ фильтрующемъ бассейнѣ и въ бассейнѣ для чистой воды. Оно происходитъ по

[1]) Указаніе толщины слоевъ фильтрующихъ матеріаловъ принятой въ нѣмецкихъ и англійскихъ фильтрахъ приведено въ „Journ. für Gasbel. und Wasservers.“ за 1890 г., т. 33, стр. 531.

вертикальному направленію сверху внизъ, если уровень воды въ бассейнѣ фильтра выше уровня въ бассейнѣ чистой воды, и снизу вверхъ при обратныхъ условіяхъ.

Для регулированія давленія въ нѣкоторыхъ случаяхъ между бассейнами вводятъ сопротивленія; тогда перевѣсъ или избытокъ давленія представляетъ собой разность давленій спереди и сзади сопротивленія за вычетомъ потери давленія въ самомъ сопротивленіи.

При движеніи воды разность давленій въ бассейнѣ чистой воды въ различныхъ мѣстахъ фильтра всегда будетъ различна, такъ какъ всякая частица воды должна совершить не только вертикальное движеніе по фильтру, но также и движеніе по направленію отъ мѣста впуска къ мѣсту выпуска, а это движеніе расходуетъ различную для разныхъ положеній часть избытка давленія. Поэтому абсолютно равномѣрное движеніе черезъ фильтръ недостижимо; но движеніе будетъ къ равномѣрному тѣмъ ближе, чѣмъ меньше сопротивленія въ нижней части фильтра вообще и въ сравненіи съ тѣми сопротивленіями, которыя являются при проходѣ воды черезъ верхніе песчаные слои.



Фиг. 118. Расположеніе подготовительнаго фильтра для ключей воды изъ Heidenklinge бл. Штутгарта.

Масштабъ ситуаціи 1 : 600, для разрѣзовъ 1 : 500.

Такъ какъ возможно равномѣрное движеніе черезъ верхній песчаный слой съ цѣлью сохраненія фильтрующаго илистаго слоя, или для предупрежденія проникания частицъ мути въ глубже лежащіе слои фильтра, является первымъ условіемъ хорошей фильтраціи, то необходимо всегда стремиться дѣлать этотъ песчаный слой по возможности болѣе мощнымъ и уменьшить до минимума разность давленій въ находящейся на подошвѣ фильтра водѣ во время ея движенія. Послѣдняя цѣль наиболѣе совершенно достигается при изображенной на фиг. 117 конструкціи помощью расположенной надъ подошвой сѣтки *S*. Въ практикѣ же при болѣе крупныхъ сооруженіяхъ подобное устройство сопряжено съ весьма значительными расходами.

Для фильтрованія ключевой воды изъ ключа Heidenklinge при Штутгартѣ, которая бываетъ нѣсколько мутна во время таянія снѣговъ и послѣ дождей, была выбрана конструкція, изображенная на ф. 118 и 119. Какъ видно изъ разрѣза по *EF*, дренажъ фильтра состоитъ изъ ряда расположенныхъ другъ возлѣ друга пустотѣлыхъ камней, на подобіе пустотѣлыхъ кирпичей, снабженныхъ отверстіями въ верхней части и служащихъ подошвой

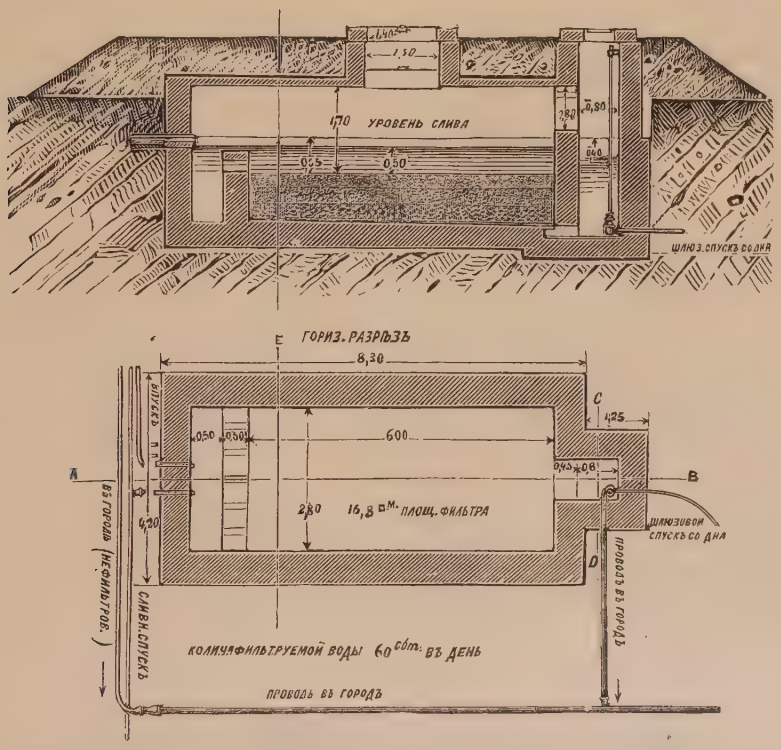
для постели фильтра. Фильтрованная вода во всѣхъ точкахъ подошвы фильтра можетъ равномѣрно проникать въ пустотѣлые камни черезъ имѣющіяся вверху отверстія; поперечныя сѣченія пустотъ камней образуютъ собой довольно значительное поперечное сѣченіе, достаточное для прохода профильтрованной воды въ чистый бассейнъ съ весьма небольшой скоростью.

Этотъ фильтръ вполнѣ удовлетворительно фильтруетъ около 3,5 куб. метр. воды на 1 кв. метр. фильтрующей площади. Временами фильтръ выключается изъ водопроводной сѣти, и вода проводится къ городу непосредственно отъ ключей. Приспособленія для выключенія фильтровъ и проч. видны изъ приложенныхъ чертежей.

Фильтръ покрытъ сводомъ, обсыпанъ землей и снабженъ смотровой шахтой для доступа во внутрь бассейна.

Въ болѣе крупныхъ сооруженіяхъ гончарныя трубы могутъ быть замѣнены сводчатыми каналами съ прорѣзами въ стѣнкахъ [1]).

Продольный разрѣзъ A B



Фиг. 119. Горизонт. и прод. разрѣзы фильтра для ключевой воды изъ Heidenklinge близъ Штутгарта

Масштабъ 1 : 150.

Впрочемъ, подобныя конструкціи встрѣчаются довольно рѣдко. Въ менѣе совершенной уже формѣ устроенъ дренажъ фильтровъ водопровода New-River-Company въ Лондонѣ и новаго Цюрихскаго водоснабженія [2]), гдѣ онъ производится двумя на сухо выложенными рядами кирпичей. Кирпичи нижняго ряда уложены поперекъ, а верхніе вдоль, такъ что подъ всѣмъ фильтромъ образуется родъ отводной рѣшетки. Въ Цюрихскомъ фильтрѣ надъ этой рѣшеткой для выравниванія поверхности насыпанъ тонкій слой хряща вели-

[1]) Подобное устройство встрѣчается въ водопроводѣ города Lambeth.

[2]) Jahresbericht über die Wasserversorgung von Zürich und Umgebung. Zürich, 1888. стр. 13.

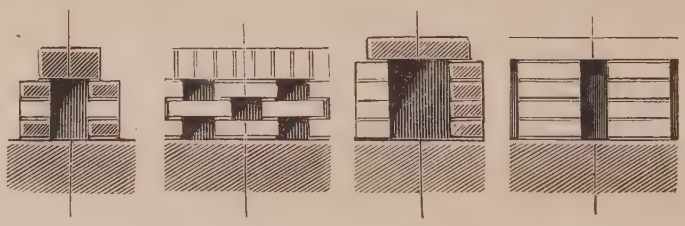
чиной съ бобъ толщ. 10 сантим., надъ которымъ лежитъ слой крупнаго песку толщ. 15 сант., а надъ этимъ послѣднимъ лежитъ собственно фильтрующій слой толщ. 80 сантиметр. Отведенная рѣшеткой профильтрованная вода поступаетъ въ два сборныхъ канала, идущихъ параллельно по подошвѣ фильтра въ первой и третьей четверти ширины фильтровыхъ камеръ и отводящихъ эту воду въ бассейнъ чистой воды. Это устройство обладаетъ тѣмъ преимуществомъ, что при немъ устраняется необходимость въ нижнихъ слояхъ фильтра, обыкновенно состоящихъ изъ камней; вслѣдствіе этого уменьшается глубина постели фильтра. Окупается ли это преимущество значительной стоимостью кирпичей, конечно, зависитъ отъ мѣстныхъ условій.

Обыкновенно по срединѣ фильтра укладывается большой сборный каналъ, въ которомъ соединяются боковые каналы съ проницаемыми стѣнками. Такимъ путемъ на днѣ фильтра образуются отдѣленія, заполняемыя крупными камнями, образующими собой нижніе слои фильтра. Чѣмъ ближе другъ къ другу расположены эти боковые каналы, тѣмъ ближе устройство фильтра подходитъ къ идеальной конструкціи. Опытъ показалъ, что для достиженія возможно равномѣрнаго фильтрованія вполнѣ достаточно, если наибольшая скорость воды въ сборномъ каналѣ, и соотвѣтственно также въ боковыхъ каналахъ, не превышаетъ 100—120 милиметр. въ секунду, и по этой скорости нетрудно опредѣлить требуемые размѣры каналовъ въ каждомъ данномъ случаѣ. Разстояніе между боковыми каналами составляетъ 3—5 метровъ въ зависимости отъ размѣровъ камней нижняго слоя: при крупныхъ размѣрахъ камней разстояніе между каналами дѣлается наибольшее, а при относительно небольшихъ размѣрахъ это разстояніе дѣлается меньше. Выборъ того или другого способа въ смыслѣ стоимости зависитъ отъ общаго расположенія фильтра.

Считаемъ необходимымъ здѣсь замѣтить, что наилучшимъ матеріаломъ для дренированія фильтра считается хорошо обожженный кирпичъ, который почти исключительно примѣняется для этой цѣли. Примѣненіе небольшихъ гончарныхъ трубъ съ боковыми отверстіями или бетонныхъ трубъ на практикѣ оказалось неудовлетворительнымъ для крупныхъ сооруженій. Кирпичные каналы устраиваются съ перпендикулярными къ стѣнкамъ, или еще лучше съ расположенными накрестъ, щелями, черезъ которыя въ нихъ можетъ проникать вода (фиг. 120). Главные сборные каналы, по которымъ проходятъ значительныя количества воды, покрываются сверху каменными или бетонными плитами; стѣнки ихъ снабжены отверстіями только въ мѣстахъ соединенія съ ними боковыхъ каналовъ, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ они служатъ для сбора воды, для чего они снабжаются щелями. Послѣдній случай наиболѣе часто встрѣчается въ большихъ фильтрахъ.

Главный каналъ отъ фильтра непосредственно проведенъ въ бассейнъ чистой воды или въ шахту, или же онъ соединяется съ трубой, ведущей къ этому бассейну. Въ концѣ канала или трубы обыкновенно становится створный кранъ или щитовая задвижка.

3. Полученіе и сохраненіе допускаемой нормальной скорости прохода воды. Постоянная разность горизонтовъ воды въ фильтрѣ и сборникѣ или бассейнѣ чистой воды будетъ приводить въ движеніе постоянно одинаковое количество



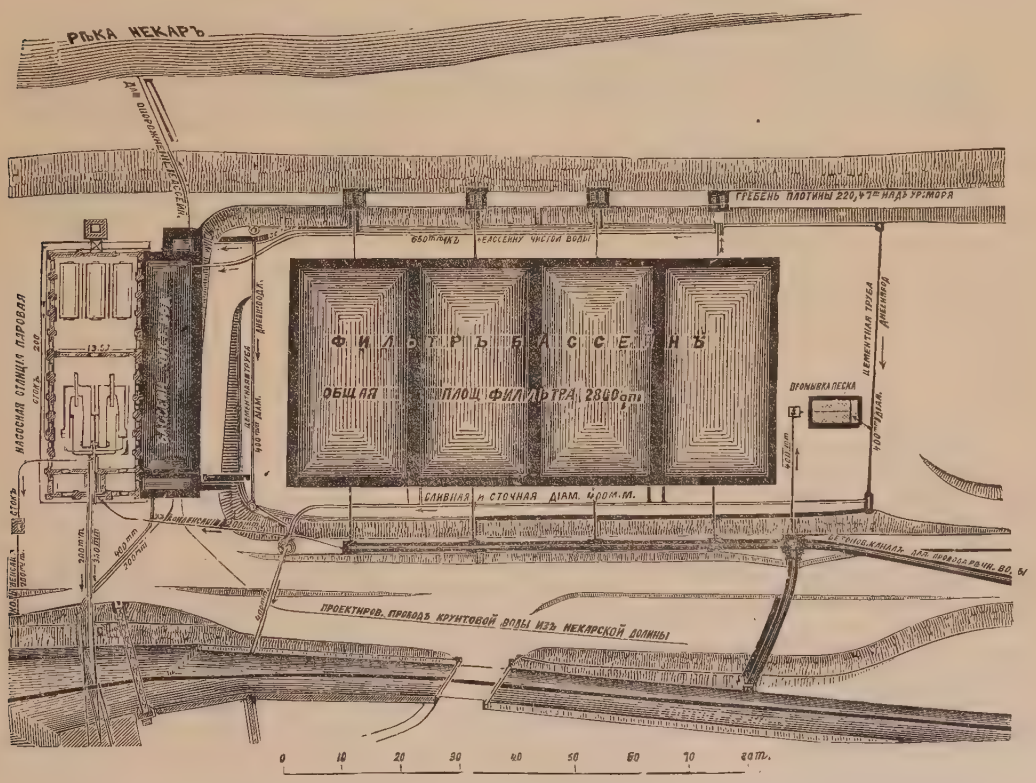
Фиг. 120. Кирпичные сборные каналы.

воды лишь въ томъ случаѣ, когда сопротивленія этому движенію остаются постоянными. Подобное условіе, правда, имѣетъ мѣсто въ глубокорасположенныхъ частяхъ постели фильтра, каналовъ для чистой воды и т. д.; наоборотъ, сопротивленія для входа воды въ верхнихъ песчаныхъ слояхъ возрастаютъ по мѣрѣ того, какъ поры песку все больше и больше закупориваются, и отдѣльныя песчаныя зерна пріобрѣтаютъ липкость вслѣдствіе пристающихъ къ нимъ илистыхъ веществъ. Эти сопротивленія, наконецъ, достигаютъ такой величины, при которой начальный напоръ не вызываетъ фильтрованія сколько нибудь замѣтнаго количества воды.

Ближайшее средство увеличенія количества даваемой фильтромъ воды состоитъ въ увеличеніи напора. Послѣ такого увеличенія напора тотъ же послѣдовательный ходъ фильтраціи начинается съизнова: сначала получается больше воды, количество которой постепенно уменьшается.

Наконецъ, по достиженіи наибольшого допускаемого напора наступаетъ, однако, тотъ моментъ, когда фильтръ даетъ весьма небольшое только количество воды. Это состояніе называютъ закупоркой или засореніемъ фильтра.

Величина наибольшаго напора не можетъ быть произвольной, такъ какъ она обусловливаетъ собой тотъ предѣлъ, при которомъ прекращается равномѣрное дѣйствіе фильтрующаго слоя. Если напоръ продолжаетъ увеличиваться, то совершенно непроницаемыя заплывшія части поверхности фильтра отъ этого существенно не измѣняются; наоборотъ же, въ болѣе


РѢКА НЕКАРЪ
ГРЕБЕНЬ ПЛОТИНЫ 220,97 НАД> УР.МОРЯ
ОБОЙМА
ФИЛЬТРЪ БАССЕЙНЪ
ОБЩАЯ ПЛОЩ. ФИЛЬТРА 2860 qm
ПРОМЫВКА ПЕСКА
СЛИВНАЯ И СТОЧНАЯ ДІАМ. 400 М.М.
ПРОЕКТИРОВ. ПРОВОДЪ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ИЗЪ НЕКАРСКОЙ ДОЛИНЫ
0 10 20 30 40 50 60 70 mtr.

Фиг. 121. Расположеніе фильтровъ для Некарскаго водопровода въ Штутгартѣ.

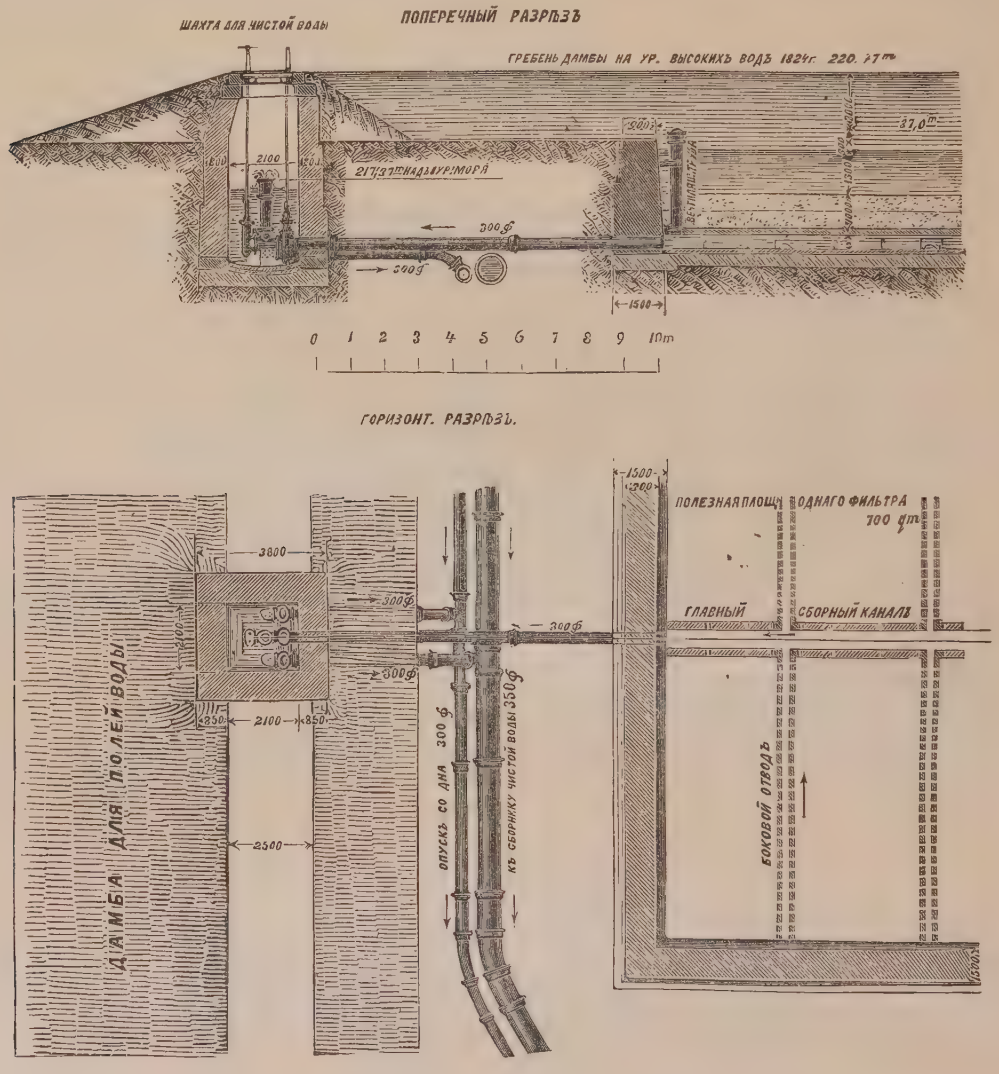
или менѣе проницаемыхъ мѣстахъ, вслѣдствіе значительнаго напора, предохранительный покровъ фильтра прорывается, вслѣдствіе чего фильтръ оказывается поврежденнымъ. Если даже подобнаго прорыва фильтра не происходитъ, то песокъ настолько спрессовывается, что никакого дальнѣйшаго увеличенія количества фильтруемой воды въ какомъ-либо мѣстѣ фильтра не происходитъ. Для устраненія подобныхъ обстоятельствъ, рабочая высота напора, какъ упомянуто выше, не должна превышать 60—80 сантиметр.

Когда въ сборникѣ чистой воды (бассейнѣ, шахтѣ и пр.) существуетъ постоянный уровень, а уровень воды надъ фильтромъ измѣняется весьма мало [1]), то регулированіе напора достигается введеніемъ искусственнаго сопротивленія. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ это сопротивленіе состоитъ изъ задвижки, почти закрытой въ началѣ фильтрованія и постепенно открываемой по мѣрѣ продолженія дѣйствія фильтра. Когда эта задвижка окончательно открыта, то рабочая высота напора образуется полной разностью высотъ уровней воды надъ фильтромъ и въ бассейнѣ чистой воды. Если эта разность соотвѣтствуетъ наибольшему допус-

[1]) Надзирающій за фильтромъ долженъ имѣть возможность путемъ задвижки или крана увеличивать притокъ нефильтрованной воды къ фильтру.

каемому рабочему напору, то не остается ничего иного, какъ ожидать до конца фильтрованія. Подобное же регулированіе можетъ быть произведено и помощью щитового затвора. По наступленіи закупорки или засоренія фильтра послѣдній долженъ быть очищенъ, и процессъ начинается съизнова.

Всякій внимательный надсмотрщикъ за фильтромъ будетъ въ состояніи регулировать открываніе упомянутой задвижки такъ, чтобы не образовался слишкомъ большой напоръ; въ этомъ случаѣ качества доставляемой фильтромъ воды остаются постоянно удовлетворительными. Количество же воды, наоборотъ, не находится въ нашихъ рукахъ; хотя урывками можно нѣсколько увеличить количество воды, но въ зависимости отъ качества поступающей



Фиг. 122. Горизонт. и попереч. разрѣзы фильтра съ шахтой для чистой воды.

на фильтръ воды это количество болѣе или менѣе быстро опять уменьшается. Такимъ образомъ надсмотрщикъ за фильтромъ долженъ быть весьма внимателенъ, если желаетъ получать постоянное количество воды отъ обслуживаемой имъ группы фильтровъ. Каждый отдѣльный фильтръ имѣетъ свою производительность, узнаваемую по водосливу или какому-либо другому прибору.

При нѣкоторой внимательности и навыкѣ, въ случаѣ большого числа имѣющихся въ распоряженіи фильтровъ, всегда возможно удовлетворять потребности въ водѣ для даннаго снабжаемаго округа. При установкѣ фильтрового стока необходимо озаботиться о томъ, чтобы

измѣненія скорости прохода воды не были бы слишкомъ велики, такъ какъ опыты показали, что въ противномъ случаѣ получается несовершенная фильтрація, и происходитъ болѣе быстрое засореніе фильтра. Послѣднее преимущественно происходитъ тамъ, гдѣ вслѣдствіе недостатка истока изъ чистаго бассейна, приходятъ въ дѣйствіе водосливы фильтроваго бассейна, причемъ рѣчная вода непосредственно поступаетъ въ фильтръ. Вся стекающая вода въ подобномъ случаѣ предварительно отстаивается въ фильтрѣ и такимъ образомъ безполезно ускоряетъ его засореніе.

Для уясненія хода фильтрованія по этому способу приводимъ изображенное на фиг. 121 и 122 устройство фильтровъ для водоснабженія города Штуттгарта. Фильтруемая вода получается изъ ручья и подъ естественнымъ напоромъ направляется къ соединенному съ машиннымъ зданіемъ песчаному фильтру по каналу съ круглымъ поперечнымъ сѣченіемъ частью каменному и частью бетонному. Фильтры состоятъ изъ 4 хъ отдѣльныхъ одинаковыхъ между собой бассейновъ, выложенныхъ изъ камня съ водонепроницаемыми стѣнками и заполненныхъ до высоты отъ 75 до 90 сантим. хрящемъ различныхъ сортовъ, надъ которымъ расположенъ слой собственно фильтрующаго песку толщ. 70 сантим.

На фиг. 121 изображенъ горизонтальный и поперечный разрѣзъ фильтра. Полезная фильтрующая площадь составляетъ въ круглыхъ числахъ 700 кв. метровъ; притокъ мутной воды происходитъ по трубамъ со стороны, противоположной истоку изъ фильтра, и можетъ быть регулированъ помощью задвижки, расположенной въ отдѣльномъ колодцѣ, какъ показано на фиг. 121. Истокъ съ фильтра ясно показанъ на фиг. 122. Отъ главнаго сборнаго канала въ фильтрѣ чугунная труба направляется къ шахтѣ чистой воды; на концѣ этой трубы расположены 2 задвижки, между которыми находится вертикальный отростокъ трубы или стоякъ; сливное отверстіе послѣдняго расположено на 80 сантиметр. глубже наивысшаго уровня воды въ фильтрѣ. Наружная задвижка на трубѣ всегда бываетъ закрыта, а открывается только для опоражниванія фильтра отъ воды; въ этомъ случаѣ открывается отдѣльный трубопроводъ, служащій для спуска воды со дна фильтра. Внутренняя задвижка служитъ исключительно для регулированія напора, который во всякое время можетъ быть опредѣленъ по разности уровней воды въ воздушной трубѣ (см. поперечный разрѣзъ фиг. 121) и въ фильтрѣ. Эта разность указываетъ также надсмотрщику производительность фильтра въ каждое данное время. Избытокъ давленія воды въ фильтрѣ при закрытой внѣшней задвижкѣ произойти не можетъ, такъ какъ находящійся впереди этой задвижки вертикальный отростокъ или стоякъ опредѣляетъ собой наибольшее давленіе воды. Наивысшее напряженіе работы фильтра опредѣляется производительностью въ 3,5 куб. метра воды на 1 кв. метр. фильтрующей площади въ 24 часа; обыкновенно отъ фильтра получается 2,7 куб. метр. съ 1 квадр. метра фильтрующей площади

Для того, чтобы надзирающій за фильтромъ могъ знать количество чистой воды, стекающей во всякое время съ каждаго фильтра, въ новыхъ, устроенныхъ со сводчатыми перекрытіями, фильтрахъ на каждомъ стоякѣ въ шахтѣ чистой воды установлена коническая насадка, уширяющаяся кверху; въ этой насадкѣ вертикально двигается надлежащимъ образомъ направляемый и нагруженный тарельчатый клапанъ, поперечное сѣченіе котораго соотвѣтствуетъ наиболѣе тѣсному мѣсту насадки; клапанъ при своемъ движеніи подымается тѣмъ выше, чѣмъ больше количество протекающей воды. Положенія тарельчатаго клапана отсчитываются по находящейся снаружи шкалѣ.

Если фильтръ совершенно опорожненъ, то послѣдующее его наполненіе до верхняго песчанаго слоя производится изъ шахты для чистой воды, помощью главнаго трубопровода ведущаго къ бассейну чистой воды.

Во многихъ случаяхъ для регулированія притока вмѣсто задвижекъ употребляются водосливные щиты, какъ, напр., это показано на фиг. 123, изображающей фильтры водоснабженія города Цюриха. Въ этомъ сооруженіи впускной каналъ расположенъ въ р. Лиммать и направляетъ неочищенную озерную воду къ насосной шахтѣ на берегу р. Лиммать. Отсюда распредѣленіе воды по фильтру производится показаннымъ на планѣ широкимъ (діам. 900 миллим.) трубопроводомъ. Справа и слѣва этого трубопровода расположены трубы: водосливная и спускная со дна, а также и выпускной каналъ.

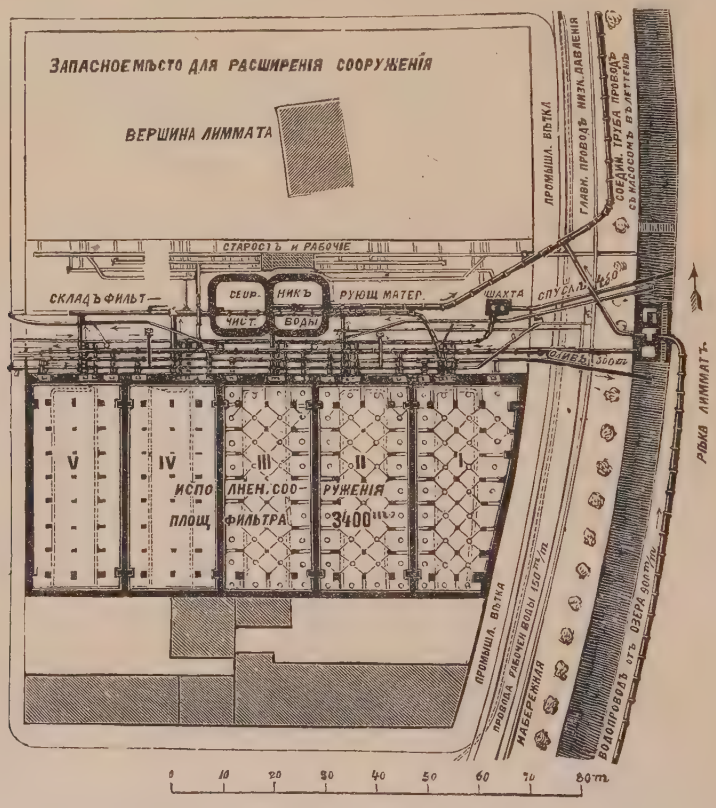
Для дѣйствія фильтровъ въ передней стѣнѣ каждаго имѣются спеціально для этой цѣлъ устроенныя шахты числомъ 3: одна впускная (со стороны набережной), другая сливная—съ противоположной стороны, и третья выпускная и для обратнаго стока—по срединѣ между ними. Въ стѣнѣ, раздѣляющей послѣднюю шахту, расположенъ водосливный щитъ для регулированія скорости фильтрованія. По вышинѣ водослива опредѣляется также и количество

истекающей воды. Выпускной каналъ отводитъ профильтрованную воду къ бассейну чистой воды, расположенному по срединѣ площади склада. По уровню воды въ этомъ бассейнѣ надсмотрщикъ опредѣляетъ то положеніе, которое слѣдуетъ придать сливному щиту [1]).

Отсюда легко видѣть, что исправное дѣйствіе этого и подобныхъ ему сооруженій зависитъ отъ умѣлости и навыка надсмотрщика. Для устраненія этой зависимости были сдѣланы попытки устройства автоматическаго регулированія.

Подобное устройство изображено на фиг. 124 и примѣнено Линдлеемъ [2]) въ водоснабженіи города Варшавы.

На выпускной трубѣ въ бассейнѣ чистой воды надѣта другая болѣе широкая подвижная труба или насадка, плотно соединенная съ первой помощью пружины или кольца. Подвижная труба на верхнемъ своемъ концѣ снабжена двумя регулируемыми отверстіями и удерживается въ своемъ положеніи помощью поплавковъ, какъ показано на фиг. 124. Нѣкоторое уравновѣшеніе трубы можетъ быть произведено отъ руки помощью противовѣса, подвѣшеннаго къ показанной на чертежѣ цѣпи. Чрезъ отверстія въ этой насадкѣ вода поступаетъ въ выпускную трубу.



Фиг. 123. Фильтры водоснабженія Цюриха.

Если изъ фильтра притекаетъ меньше воды, нежели пропускается отверстіями въ насадкѣ, то уровень воды въ шахтѣ чистой воды стремится понизиться, а вмѣстѣ съ нимъ опускаются поплавки и насадка; при обратныхъ условіяхъ вся система подымается вверхъ. Если сопротивленія пружины или набивочнаго кольца не вызываютъ сильныхъ препятствій къ этому движенію, то при всякихъ условіяхъ устанавливается извѣстное состояніе равновѣсія, при которомъ отверстіе для выхода воды остается приблизительно въ одинаковомъ положеніи по отношенію уровня воды въ шахтѣ, опускающагося на высоту H. Поплавки, или соотвѣтственно рабочая высота напора H, постепенно слѣдуютъ за уменьшеніемъ пропускаемости фильтра, и, наконецъ, насадка остается неподвижной на постоянной трубѣ что, при правильныхъ размѣрахъ устройства, означаетъ засореніе фильтра.

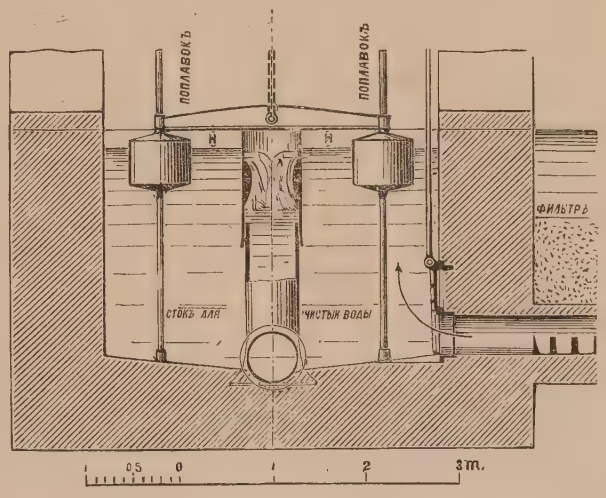
[1]) Ср. „Jahresbericht über die Wasserversorgung von Zürich und Umgebung“ за 1885 г. Zürich. 1886.

[2]) Lindley, W. H. De l'usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau. Paris 1889.

Описанное приспособленіе несомнѣнно представляетъ собой значительное усовершенствованіе, которое хотя не устраняетъ вполнѣ необходимости въ надсмотрщикѣ, но при исправномъ своемъ дѣйствіи значительно облегчаетъ его обязанности.

4. Удаленіе воздуха изъ постели фильтра. Выше мы упомянули о томъ, какое вредное вліяніе оказываютъ подымающіеся съ постели фильтра пузырьки воздуха на фильтрующій слой; поэтому необходимо озаботиться надлежащимъ удаленіемъ воздуха изъ постели фильтра. Это удаленіе воздуха прежде всего достигается тѣмъ, что при первоначальномъ пусканіи фильтра въ работу его заполняютъ водой снизу изъ резервуара чистой воды. Но и въ этомъ случаѣ, даже при весьма медленномъ наполненіи, пузырьки воздуха осаждаются въ изобиліи, преимущественно въ сборномъ каналѣ и боковыхъ отводахъ. Этотъ воздухъ долженъ имѣть возможность непосредственно выдѣляться въ атмосферу. Такъ какъ для удобства опоражниванія главному сборному каналу придается уклонъ къ сборнику чистой воды, а боковые дренажи имѣютъ уклонъ къ главному сборному каналу, то отводныя воздушныя трубы будутъ наиболѣе дѣйствительны, если онѣ будутъ расположены въ высшихъ точкахъ этихъ каналовъ, т. е. на краяхъ бассейна фильтра. Чѣмъ совершеннѣе сообщеніе съ внѣшней атмосферой, тѣмъ сооруженіе бываетъ лучше еще и по другой причинѣ.

Опытъ показалъ, что время отъ времени фильтръ слѣдуетъ осушать и провѣтривать, для уменьшенія содержанія органическихъ веществъ, постепенно проникающихъ въ нижнюю часть фильтра, которая десятками лѣтъ не замѣняется новой. Для этого случая легкій доступъ наружнаго атмосфернаго воздуха имѣетъ весьма важное значеніе.



Фиг. 124. Автоматическое регулированіе стока воды изъ бассейна фильтра.

5. Устраненіе внѣшнихъ вліяній. На качества стоячей или медленно движущейся воды обильный пылью воздухъ имѣетъ весьма вредное вліяніе, безразлично какого происхожденія бываетъ эта пыль, растительнаго или минеральнаго; преимущественно могутъ быть вредны при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ содержащіеся въ воздухѣ гнилостные грибки. Поэтому необходимо по возможности предохранить верхнюю поверхность фильтра отъ этихъ вредныхъ вліяній, что лучше всего достигается покрытіемъ бассейна фильтра потолкомъ или сводомъ. Если по какимъ либо причинамъ подобное перекрытіе или сводчатое покрытіе бассейна фильтра невыполнимо, то необходимо по возможности устранить обыкновенныя причины вредной пыли правильнымъ выборомъ мѣста фильтра; вслѣдствіе этого послѣдній никогда не располагается вблизи оживленныхъ улицъ или въ раіонахъ съ обиліемъ дыма (отъ фабрикъ, заводовъ). Противъ невольныхъ или злоумышленныхъ внѣшнихъ поврежденій фильтры, преимущественно открытые, должны быть предохранены помощью прочныхъ оградъ и заборовъ.

Достаточное предохраненіе открытыхъ фильтровъ противъ атмосферическихъ вліяній довольно затруднительно. Морозы и жары, снѣга и дожди, вѣтры и т. п. оказываютъ на фильтры весьма вредное вліяніе. Въ странахъ съ продолжительной зимой морозъ представляетъ собой весьма неблагопріятное условіе для дѣйствія фильтра. Для возможности вообще дѣйствія фильтра ледъ необходимо долженъ быть вырубленъ, и вода всегда должна оставаться открытой. Если во время продолжительныхъ морозовъ произошло засореніе подобнаго фильтра, то очистка засореннаго песчанаго слоя, а вмѣстѣ съ ней и пусканіе вновь въ ходъ фильтра, дѣлается невозможной; поэтому подобный фильтръ долженъ быть окончательно выключенъ изъ сѣти до наступленія болѣе мягкой погоды. Если же происходитъ одновременное засореніе нѣсколькихъ фильтровъ, то по необходимости остающіеся въ дѣйствіи должны работать болѣе усиленно, вслѣдствіе чего и они подвергаются весьма быстрому засоренію.

Къ счастью, во время сильныхъ морозовъ фильтруемая вода не бываетъ очень грязна; въ противномъ случаѣ дѣйствіе фильтровъ весьма часто оказывалось бы невозможнымъ. Во всякомъ случаѣ ввиду дѣйствія мороза оказывается необходимой громадная запасная площадь фильтра; кромѣ того, каменная кладка стѣнъ бассейна сильно страдаетъ при вырубкѣ льда и отъ дѣйствія мороза на самую кладку. Подъ вліяніемъ жары происходитъ нагрѣваніе воды, которое не только вредно дѣйствуетъ на температуру фильтра, но и благопріятствуетъ развитію растительности въ нефильтрованной водѣ, вслѣдствіе чего происходитъ засореніе фильтра. Повышенная температура фильтрата, въ свою очередь, содѣйствуетъ быстрой его порчѣ, оказываясь такимъ образомъ вредной въ двухъ отношеніяхъ: отъ нагрѣванія воды въ мѣстахъ ея выхода изъ сѣти, дѣлающаго воду весьма непріятной для употребленія, и отъ опасности развитія въ фильтрованной водѣ зародышей грибковъ. Дождь и снѣгъ увлекаютъ собой въ бассейнъ фильтра различныя нечистоты изъ атмосфернаго воздуха. Сильные вѣтры вызываютъ волненіе воды и нарушаютъ связь фильтрующихъ песчаныхъ слоевъ на поверхности фильтра, образуя такимъ образомъ причину мути въ фильтратѣ.

Перекрываніе или сводчатое покрытіе фильтра устраняетъ большую часть указанныхъ неблагопріятныхъ условій. Въ перекрытыхъ фильтрахъ вода лѣтомъ остается прохладной, а зимой она прогрѣвается подъ вліяніемъ уравновѣшенія теплоты воды съ теплотой окружающей земли. Колебанія температуры происходятъ въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ, вслѣдствіе чего развитіе растительныхъ и животныхъ организмовъ чрезвычайно ограничено. Дѣйствіе дождя, снѣга, вѣтра и пыли при покрытомъ фильтрѣ совершенно парализуется. Но главное преимущество перекрытыхъ фильтровъ состоитъ въ томъ, что они не такъ быстро засоряются, какъ открытые фильтры, что вредное вліяніе мороза и всѣ непріятныя отъ него послѣдствія совершенно устранены и, наконецъ, потребная для правильнаго непрерывнаго дѣйствія фильтра запасная площадь въ этомъ случаѣ сводится къ минимуму. Медленность засариванія, въ свою очередь, значительно уменьшаетъ стоимость чистки (такъ какъ обновленіе верхняго фильтрующаго слоя требуется рѣже); расходы по вырубанію льда и проч. въ этомъ случаѣ совершенно устраняются. Точно также въ значительной мѣрѣ уменьшается стоимость надзора за самимъ зданіемъ фильтра.

Опытъ съ фильтрами города Цюриха (изъ 5 фильтровъ, показанныхъ на фиг. 123, ближайшіе къ р. Лиммать 3 фильтра перекрыты сводами, а остальные 2 открыты и снабжены столбами для сводовъ) показалъ, что фильтрованіе воды перекрытыми фильтрами, вмѣстѣ съ процентами (4%) и амортизаціей капитала (2%), на 10 % дешевле, нежели открытыми фильтрами, несмотря на то, что первоначальная стоимость послѣднихъ была на 27½% ниже стоимости первыхъ. Это обстоятельство находится въ связи съ меньшею производительностью открытыхъ фильтровъ [1]).

Всѣ эти соображенія въ совокупности настолько категорически говорятъ въ пользу закрытыхъ фильтровъ для нашего климата, что исключительное ихъ примѣненіе можетъ быть разсматриваемо, какъ необходимое техническое требованіе. При этомъ вредное дѣйствіе внѣшнихъ вліяній само собой отпадаетъ.

6. Обращеніе съ постелью фильтра. Время, протекающее до первой необходимости снятія верхняго песчанаго слоя фильтра, само собой разумѣется, зависитъ отъ общей организаціи дѣйствія фильтра; при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ оно бываетъ больше, когда фильтрованію предшествуетъ отстаиваніе воды, и когда фильтры перекрыты сводами. Впрочемъ, время работы фильтра обусловливается качествами фильтруемой воды и количествомъ воды, требуемымъ съ каждаго квадратнаго метра фильтрующей площади въ 24 часа и колеблющимся обыкновенно между 1,5 и 3,5 кубич. метр. (см. выше). При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что необходимо принять въ соображеніе не только количество содержащихся въ нефильтрованной водѣ веществъ, но также ихъ большую или меньшую липкость.

Въ фильтрахъ города Штуттгарта, гдѣ фильтрованіе притекающей къ открытымъ фильтрамъ воды р. Некара производится безъ предварительнаго отстаиванія, среднимъ числомъ требуется около 10 очистокъ фильтра въ годъ; въ открытыхъ фильтрахъ города Цюриха въ среднемъ потребно 9 чистокъ въ годъ. Въ водоснабженіи города Альтоны среднее рабочее время фильтра составляетъ 15 до 20 дней, и число требуемыхъ ежегодно чистокъ составляетъ отъ 18 до 24. Въ наиболѣе неблагопріятные періоды для англійскихъ рѣкъ открытые

[1]) „Jahresbericht über die Wasserversorgung von Zürich und Umgebung“ за 1889 г. Zürich. 1890, стр. 43.

фильтры требуютъ чистки разъ въ недѣлю. Линдлей говоритъ, что періодъ работы фильтра между двумя чистками колеблется между 5 или 6 днями и 3 мѣсяцами, и въ среднемъ можетъ быть принятъ въ 3—4 недѣли (т. е. ежегодно отъ 13 до 17 чистокъ); въ Варшавѣ этотъ періодъ составляетъ 4 недѣли. Въ Альтонѣ и Варшавѣ фильтрованію предшествуетъ отстаиваніе, а въ Штуттгартѣ фильтрованіе производится безъ предварительнаго отстаиванія; въ Цюрихѣ же фильтруется чистая озерная вода. Относительно наибольшихъ и наименьшихъ рабочихъ періодовъ фильтровъ Kümmel [1]) приводитъ слѣдующія данныя:

ГОРОДА.	Наиболѣе длинный рабочій періодъ въ дняхъ.	Наиболѣе короткій рабочій періодъ въ дняхъ.
Берлинъ	90	8
Бреславль	70	13
Магдебургъ	40	11
Альтона	48	15
Штеттинъ	22	6
Бременъ	28	4
Штуттгартъ	70	11
Брауншвейгъ	104	12

Во всѣхъ этихъ мѣстахъ наиболѣе длинные рабочіе періоды фильтровъ бываютъ зимой.

Выше мы замѣтили и выяснили причину, почему фильтръ въ свѣжемъ состояніи не даетъ чистой воды. Чѣмъ грязнѣе бываетъ вода, притекающая къ свѣжему фильтру, тѣмъ быстрѣе происходитъ образованіе собственно фильтрующаго слизистаго слоя, представляющаго собой необходимое предварительное условіе хорошаго фильтрованія. Поэтому при мутной рѣчной водѣ уже черезъ одинъ или два дня послѣ начала ея притока къ свѣжему фильтру слѣдуетъ ожидать совершенно прозрачнаго свѣтлаго фильтрата, достаточно свободнаго отъ содержанія органическихъ веществъ и микробовъ. При чистой озерной водѣ въ Цюрихѣ, наоборотъ, временами фильтръ только по истеченіи 36½ дней послѣ пусканія въ работу доставляетъ воду, обладающую достаточной чистотой для провода ея въ водопроводную сѣть. Между этими предѣлами на практикѣ колеблются нерабочіе періоды фильтровъ. Такъ какъ изъятіе фильтра на продолжительное время влечетъ за собой значительныя неудобства, то можно рекомендовать быстрое образованіе слизистаго слоя искусственнымъ путемъ, вызывая муть въ водѣ прибавленіемъ къ ней различныхъ коллоидальныхъ веществъ и проч.

При очисткѣ фильтра обыкновенно съ верхняго песчанаго слоя снимается только слой толщ. 2 сантим. Хотя подъ этимъ слоемъ песокъ фильтра тоже не бываетъ совершенно чистъ, но удаленіе этого слегка загрязненнаго слоя было бы весьма невыгодно, такъ какъ опытъ показалъ, что при дальнѣйшемъ фильтрованіи черезъ этотъ слой не только не получается болѣе дурной фильтратъ, нежели отъ новаго песку, но что здѣсь образованіе липкой оболочки вокругъ песчинокъ происходитъ быстрѣе, нежели въ новомъ песчаномъ слоѣ, вслѣдствіе чего въ нижнюю часть фильтра попадаетъ меньше нечистотъ. Послѣ снятія верхняго засореннаго или загрязненнаго слоя песокъ долженъ быть вилами разрытъ на глубину 20—25 сантим., затѣмъ слегка выравненъ граблями или скребками. Эта операція производится потому, что вслѣдствіе значительнаго давленія до наступленія засоренія верхніе слои постели фильтра слипаются между собой и не обладаютъ необходимой для нормальной фильтраціи проницаемостью. Дальнѣйшія операціи съ фильтромъ, насыпка новаго песчанаго слоя по истеченіи нѣкотораго періода времени, заполненіе постели фильтра водой снизу и т. д. были упомя-

[1]) Kümmel, W. Die Typhusepidemie in Altona 1891 und das filtrierte Wasser.

нуты нами выше. Наибольшій допускаемый фильтраціонный рабочій напоръ, при которомъ фильтръ требуетъ очистки отъ ила, составляетъ, какъ выше было приведено, 60—80 сантим.

Въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ добываніе новаго песку сопряжено съ нѣкоторыми затрудненіями, получаемый при чисткѣ загрязненный песокъ подвергается промывкѣ. Послѣдняя производится помощью скребковъ или вилъ; къ загрязненному песку подводится чистая вода, которая при подвиганіи скребка впередъ и назадъ смѣшивается съ иломъ и затѣмъ спускается. Само собой разумѣется, что при этомъ вода увлекаетъ съ собой и часть годнаго песку. Вмѣсто ручной промывки песку эта работа въ Цюрихѣ производится машиннымъ способомъ, при чемъ подобное движеніе впередъ и назадъ скребка получается вдвое дешевле, нежели при ручной промывкѣ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для этой цѣли употребляются промывательные барабаны.

Время отъ времени—если возможно, то нѣсколько разъ въ годъ—постели фильтровъ должны быть совершенно опорожнены. Послѣ удаленія воды изъ всѣхъ поръ и промежутковъ, въ слои постели проникаетъ атмосферный воздухъ, соприкасающійся со всѣми поверхностями фильтрующаго матеріала и содѣйствующій, какъ показали опыты, сохраненію въ матеріалѣ свойства доставлять воду, свободную отъ содержанія органическихъ веществъ и бактерій. Это дѣйствіе воздуха или провѣтриваніе матеріала полезно производить въ теченіе 2—3 дней; оно будетъ наиболѣе удовлетворительно при теплой, сухой погодѣ.

Равномѣрность и правильность отвода воды, какъ мы это видѣли раньше, имѣютъ весьма важное значеніе для дѣйствія фильтра. Насколько возможно, слѣдуетъ стремиться къ достиженію этой цѣли безъ участія человѣческаго труда. Для завѣдывающаго фильтромъ инженера важны не только служащія исключительно для этой цѣли приспособленія, но по возможности также и другія приспособленія, какъ самопишущій измѣрительный приборъ для автоматическаго отсчитыванія поступающей на фильтръ и вытекающей въ сборникъ воды, показатель уровня воды для быстраго опредѣленія фильтраціоннаго напора и проч. Детальное описаніе этихъ приборовъ не входитъ въ нашу программу, а потому мы на немъ не останавливаемся.

При нормальномъ дѣйствіи фильтра необходимы также правильные химическіе и бактеріологическіе анализы фильтрованной воды, свѣтовыя испытанія для опредѣленія степени прозрачности воды, а также и измѣренія температуры воды.

Практическія указанія. Съ тѣхъ поръ, какъ во всѣхъ цивилизованныхъ странахъ начали обращать серьезное вниманіе на вопросъ объ общественномъ здравіи, стали также съ большимъ интересомъ изучать вопросъ объ искусственномъ фильтрованіи воды съ гигіенической стороны. Первенствующую роль, естественно, при этомъ играетъ опасность отъ бактерій, главнымъ образомъ потому, что переносъ различныхъ болѣзней, напр. тифа, холеры и проч. считаютъ частью происходящимъ при посредствѣ питьевой воды. Вообще взгляды выдающагося современнаго ученаго въ области гигіены (Петтенкофера) находятся въ прямомъ противорѣчіи со взглядами нѣкоторыхъ болѣе молодыхъ ученыхъ. Петтенкоферъ при всемъ томъ прибавляетъ, что вода съ содержаніемъ бактерій во всякомъ случаѣ подозрительнѣе воды, свободной отъ содержанія бактерій; съ большой вѣроятностью можно принять, что въ водѣ съ содержаніемъ бактерій можетъ содержаться относительно бо́льшее число патогенныхъ бактерій, нежели въ водѣ, свободной отъ содержанія бактерій. Это положеніе можетъ быть принято, какъ совершенно правильное.

На вопросъ о томъ, задерживаются ли бактеріи путемъ тщательнаго фильтрованія черезъ песокъ, безусловно утвердительнаго отвѣта при настоящемъ положеніи нашихъ знаній не получается. Между опытами въ Женевѣ [1]), при которыхъ песчаный фильтръ мощностью 1,10 метр. оказался почти совершенно не вліяющимъ на прониканіе бактерій, и опытами въ Цюрихѣ, которые при нормальномъ ходѣ фильтрованія констатировали совершенно свободный отъ зародышей фильтратъ, находится громадное число опытовъ, на основаніи результа-

[1]) Fol, H. et. Dunant, P. L. Recherches sur le nombre de germes vivants que renferment quel ques eaux de Genève et des environs. Genève 1884.

товъ которыхъ во всякомъ случаѣ можно принять, что фильтрованіе черезъ песокъ дѣйствуетъ на бактеріи задерживающимъ образомъ, но что скорость прохода воды и другія обстоятельства имѣютъ парализующее вліяніе, такъ что черезъ фильтръ постоянно еще проходитъ небольшая часть зародышей. Число опытовъ, констатирующихъ послѣдній фактъ, весьма велико.

Совершенно непонятны неоднократныя наблюденія, показавшія внезапное значительное увеличеніе содержанія бактерій въ нефильтрованной водѣ зимой безъ всякой видимой къ тому причины. Такъ, напр., въ Цюрихѣ зимой 1890—91 г., когда озеро было покрыто льдомъ, содержаніе бактерій оказалось почти въ 10 разъ больше нормальнаго, составлявшаго около 200 зародышей въ 1 куб. сантиметрѣ. Въ Штралаускомъ водопроводѣ (города Берлина) число зародышей въ фильтрованной водѣ 30 марта 1886 г. доходило до 2300 въ 1 куб. сантим., а въ Тегельскомъ водопроводѣ (города Берлина) содержаніе зародышей 8 декабря 1885 г. составляло 1500 на 1 куб. сантим.; въ Варшавѣ 9 февраля 1889 г. число бактерій было 406; въ Альтонѣ 20 февраля 1886 г. оно было 1150, а въ январѣ 1891 г. оно было 1900 въ 1 куб. сантим.

Мы полагаемъ, что фильтрованіе черезъ песокъ производитъ значительное улучшеніе качествъ воды; но путемъ извѣстныхъ до сихъ поръ методовъ фильтрованія въ исключительныхъ только случаяхъ удается получить воду, совершенно свободную отъ содержанія зародышей. Нужно надѣяться, что споры объ этомъ вопросѣ окажутъ содѣйствіе дальнѣйшимъ успѣхамъ въ устройствѣ и дѣйствіи фильтровъ и ускорятъ тотъ моментъ, когда мы въ состояніи будемъ сказать, что фильтрованная вода соотвѣтствуетъ всѣмъ санитарнымъ требованіямъ.

Отстаиваніе воды и фильтрованіе ея черезъ песокъ представляютъ собой чрезвычайно дорогія операціи, и эта дороговизна служитъ препятствіемъ къ общему широкому примѣненію этого процесса очистки воды. Стоимость начальнаго устройства и фильтрованія прежде всего зависитъ отъ имѣющагося въ распоряженіи песку.

Производительность фильтра, какъ было указано выше, увеличивается съ уменьшеніемъ величины песчаныхъ зернъ; но въ то же время, вслѣдствіе короткихъ рабочихъ періодовъ фильтра изъ мелкаго песку, увеличивается стоимость дѣйствія фильтра, а также и затрудненіе при его обслуживаніи. При уменьшеніи размѣра песчинокъ, затрудненія въ дѣйствіи и обслуживаніи фильтра скоро достигаютъ того предѣла, при которомъ фильтрованіе практически оказывается невозможнымъ. Этотъ предѣлъ, на основаніи опытовъ, наступаетъ уже при діаметрѣ песчинокъ $^1/_3$—$^1/_2$ миллим. Фильтръ изъ еще болѣе мелкаго песку потребуетъ ежедневной или еще болѣе частой чистки, что само по себѣ не только сравнительно весьма дорого, но очень часто бываетъ практически невозможно. Такимъ образомъ средняя величина песчаныхъ зернъ должна быть больше 0,5 миллим.

Различныя воды весьма различно относятся къ процессу фильтрованія. Каждой водѣ соотвѣтствуетъ опредѣленная степень мелкости фильтрующаго песку, дающая наиболѣе благопріятныя условія фильтрованія, т. е. тѣ условія, при которыхъ фильтрованіе будетъ наиболѣе дешевое. Но полученіе надлежащаго, требуемаго въ каждомъ данномъ случаѣ песку, бываетъ не всегда возможно, такъ что необходимо сообразоваться съ качествами того песку, примѣненіе котораго находится въ предѣлахъ возможности. Опредѣленіе свойствъ песку приведено нами выше; здѣсь замѣтимъ только, что для фильтрованія не всегда примѣняется одинъ только рѣчной песокъ. Въ Альтонѣ, напр., для фильтрованія весьма успѣшно примѣняется овражный песокъ.

Установленіемъ стоимости заготовленія песку опредѣляется главный факторъ общей стоимости содержанія; цѣны же хряща, кирпича, каменной работы, машинныхъ частей для бассейна, фильтра и проч. подвержены гораздо меньшимъ колебаніямъ.

Относительно каменной кладки бассейна фильтра необходимо здѣсь замѣтить, что она должна быть выполнена весьма солидно и быть безусловно непроницаема для воды. Несоблюденіе этихъ основныхъ требованій можетъ совершенно парализовать собой дѣйствіе всего процесса фильтрованія. Трещины въ каменной кладкѣ проводятъ находящуюся надъ верхнимъ песчанымъ слоемъ фильтра грязную воду въ пространство чистой воды сосѣдняго фильтра, если только между ними существуетъ нѣкоторая разность давленій [1]). Давленіе на фундаментъ постоянно бываетъ весьма значительное, и при слабомъ грунтѣ оказывается неизбѣжнымъ искусственное укрѣпленіе подошвы. Большей частью трещины и проч. происходятъ отъ осадки фундамента; рѣже—отъ слабости наружныхъ стѣнъ, такъ какъ послѣднія должны сопротивляться сравнительно незначительному давленію земли. Впрочемъ, здѣсь необходимо должны быть приняты во вниманіе законы статики до мельчайшихъ подробностей, причемъ рекомендуется принимать всѣ возможныя предосторожности, преимущественно при устройствѣ фундаментовъ. При покрытыхъ сводами фильтрахъ, въ которыхъ часть нагрузки сводовъ передается помощью столбовъ фундаменту, распредѣленіе сосредоточеннаго давленія достигается помощью обратныхъ сводовъ и подпружныхъ арокъ.

На всемъ протяженіи внутренней поверхности стѣнъ бассейна фильтра, на которомъ стѣна подвергается дѣйствію острыхъ орудій при прорубаніи льда или при чисткѣ фильтра, стѣна облицовывается тесаными камнями или весьма твердымъ обожженнымъ кирпичемъ (желѣзнякомъ). Подошва должна быть снабжена гладкимъ слоемъ штукатурки изъ цементнаго раствора.

Примѣненіе въ фильтрахъ дерева не совѣтуется, такъ какъ дерево въ подобныхъ случаяхъ представляетъ собою очагъ бактерій.

Выполненное съ употребленіемъ значительнаго количества дерева сооруженіе было проектировано Крамеромъ для водоснабженія города Брига [2]). Для достиженія значительнаго увеличенія фильтрующей площади при небольшихъ расходахъ, песокъ былъ расположенъ въ 5 ярусовъ другъ надъ другомъ на деревянныхъ нарахъ, снабженныхъ отверстіями. Но по истеченіи короткаго времени, вслѣдствіе значительной стоимости ухода (чистки и содержанія въ исправности), этотъ фильтръ былъ оставленъ.

Для опредѣленія безусловно необходимой фильтрующей площади необходимо принять во вниманіе день съ наибольшей потребности воды; мы впослѣдствіи вернемся еще къ этому предмету (см. отд. III), а здѣсь замѣтимъ только, что въ такой день расходъ воды бываетъ въ $1^1/_2$ раза больше нормальнаго расхода, который опредѣляется дѣленіемъ годовой потребности на 365. Большей частью въ нашемъ климатѣ этотъ день бываетъ среди лѣта, когда рѣчная вода (независимо отъ воды, происходящей изъ области глетчеровъ) бываетъ совершенно прозрачна; въ этотъ и ближайшіе къ нему дни фильтръ можетъ работать съ болѣе значительнымъ напряженіемъ, т. е. площадь фильтра не должна быть сдѣлана

---

[1]) Въ Роттердамскихъ фильтрахъ такимъ путемъ въ пространство чистой воды попала водяная плѣсень Crenothrix. См. de Vries, H. Die. Pflanzen und Tiere in den dunklen Räumen der Rotterdamer Wasserleitung. Jena, 1890.

[2]) Cramer, E. Neue Filteranlage des Wasserwerkes in Brieg. Zentralbl. des Bauverw. 1886 г. т. 6, стр. 42.

въ $1^1/_2$ раза больше требуемой по среднему расходу. Въ какой степени здѣсь можно допускать соображенія бережливости, зависитъ отъ особыхъ обстоятельствъ въ каждомъ данномъ случаѣ.

Что касается запасной фильтрующей площади, то слѣдуетъ замѣтить, что крайняя степень предосторожности будетъ достигнута, если въ весьма крупныхъ сооруженіяхъ 3 отдѣленія фильтра не будутъ находиться въ работѣ, при чемъ предварительно вычисленное количество воды не уменьшится. Одно изъ этихъ отдѣленій можетъ находиться въ періодѣ чистки, другое въ періодѣ наполненія, а третье—въ періодѣ опораживанія или провѣтриванія. Число запасныхъ отдѣленій больше 3 становится не экономичнымъ; обыкновенно при открытыхъ фильтрахъ одно только запасное отдѣленіе, какъ упомянуто выше, оказывается достаточнымъ для нормальныхъ перерывовъ работы.

Стоимость фильтрованія, отнесенная къ 1 куб. метру фильтрованной воды, само собой разумѣется, бываетъ различна. По свѣдѣніямъ Кирквуда [1]) стоимость фильтрованія со включеніемъ процентовъ и амортизаціи для большихъ фильтровыхъ бассейновъ составляетъ для водопровода Chelsea-Waterworks въ Лондонѣ 0,91 пфеннига (0,45 коп.); въ наиболѣе дешево работающемъ водопроводѣ Middlerex-Waterworks она составляетъ 0,22 пфеннига (0,10 коп.). Линдлей даетъ слѣдующія числа.

Стоимость отстаиванія въ покрытыхъ сводами бассейнахъ	0,20 до 0,25 пфенн. (0,10—0,12 коп.).
Стоимость фильтрованія въ покрытыхъ сводами фильтрахъ	0,75 до 1,25 пфенн. (0,37—0,60 коп.).
Полная стоимость	0,95 до 1,50 пфенн. (0,47—0,72 коп.).

Въ Цюрихѣ 1 куб. метръ фильтрованной воды, со включеніемъ процентовъ 4% и амортизаціи 2%, изъ покрытаго фильтра обходится въ 0,68 пфен. (0,34 коп.), а изъ открытаго 0,75 пф. (0,37 коп.); въ Штуттгартѣ фильтрованіе 1 куб. метра воды въ открытыхъ фильтрахъ обходилось въ 1890—91 г. въ 0,76 пф. (0,38 коп.).

Въ приведенныхъ цифрахъ стоимости фильтрованія большая часть приходится на проценты и амортизацію. Чистка фильтра, обновленіе песку, присмотръ и содержаніе обходятся обыкновенно отъ 0,15 до 0,30 пфенн. (0,07 до 0,14 коп.) на 1 куб. метръ воды; только въ очень рѣдкихъ случаяхъ (какъ, напр., въ Альтонѣ) стоимость этихъ статей повышается до 0,50 пфенн. (0,25 коп.). Само собой разумѣется, что стоимость послѣднихъ статей въ различные годы различна, въ зависимости отъ степени мутности притекающей къ фильтру воды.

За вычетомъ стоимости мѣста, устройства притока и отвода, сборника чистой воды съ машинными частями и проч., стоимость фильтра на 1 кв. метръ фильтрующей площади для открытаго фильтра со слегка скошенными или совершенно вертикальными стѣнками бассейна при крупныхъ сооруженіяхъ составляетъ 45 до 50 марокъ (отъ 22 до 25 рублей); стоимость же перекрытыхъ сводами фильтровъ въ среднемъ можетъ быть принята въ 70—80 марокъ (35—40 рублей) на 1 кв. метръ фильтрующей площади. Въ тѣхъ случаяхъ, какъ напр., въ Штуттгартѣ, гдѣ сильный притокъ грунтовыхъ водъ создалъ нѣкоторыя затрудненія при заложеніи фундаментовъ, стоимость можетъ быть принята 10—20% выше. Въ Штуттгартѣ покрытые сводомъ фильтры обошлись около

[1]) Kirkwood, J. P. Filtration des Flusswassers zur Versorgung der Städte. Hamburg. 1878.

92 марокъ (46 рублей), а открытые около 60 марокъ (30 рублей) на каждый кв. метръ фильтрующей площади.

Стоимость болѣе мелкихъ сооруженій нѣсколько выше. Приведенныя данныя могутъ служить исходными точками для приблизительной расцѣнки при аналогичныхъ условіяхъ.

Помимо водоснабженія города Варшавы, о которомъ неоднократно упоминалось выше, считаемъ нелишнимъ здѣсь упомянуть о нѣкоторыхъ русскихъ водопроводахъ, питающихся рѣчной водой и о которыхъ имѣются данныя, собранныя постояннымъ бюро русскихъ водопроводныхъ съѣздовъ.

Гор. С.-Петербургъ снабжается фильтрованной водой изъ р. Невы. Первый водопроводъ для незарѣчныхъ частей города построенъ въ 1860 г., а въ 1875 г. построены 3 водопровода въ зарѣчныхъ частяхъ города. Пріемниками воды служатъ желѣзныя трубы діам. 75 до 1200 милл. (отъ 30 до 48 дюйм.), опущенныя въ русло р. Невы посреди̇нѣ ея теченія на глубину 6 саж. Оконечности трубъ подняты вверхъ на $1^1/_2$ саж. и закрѣплены на мѣстахъ цѣпями съ якорями. Въ лѣтнее время эти мѣста защищены плавающими надъ ними освѣщенными ночью бакенами.

Водопроводъ незарѣчныхъ частей снабженъ песчаными фильтрами съ площ. 5200 кв. саж. (23400 кв. метр.); толщ. фильтрующей постели составляетъ 3 фута (90 сант.), изъ коихъ 2 фута (60 сант.) рѣчного промытаго песку, 2 дюйма (5 сант.) гравія, 2 дюйма (5 сант.) щебня и 8 дюйм. (20 сант.) булыжнаго камня между сборнымъ каналомъ изъ кирпича—желѣзняка. Производительность фильтровъ составляетъ до 15.000.000 вед. (184500 куб. метр.) воды въ сутки. Ввиду недостаточности этого количества воды для города, въ настоящее время строятся еще добавочные фильтры площадью 4.000 кв. саж. (18000 кв. метр.). Число колоній микроорганизмовъ въ фильтрованной водѣ по сравненію съ водой нефильтрованной составляетъ приблизительно $^1/_4$. Весною во время ледохода фильтры загрязняются черезъ 5—6 дней, а лѣтомъ и зимой—черезъ 1 мѣсяцъ. Очистка производится въ ручную.

Городъ Кіевъ снабжается фильтрованной рѣчной водой изъ р. Днѣпра, въ которой уровень воды измѣняется въ предѣлахъ 3 саженей (6,4 метр.). Пріемникомъ воды служитъ труба съ вертикальнымъ отросткомъ въ концѣ, уложенная по дну рѣки до самаго глубокаго мѣста ея. Фильтры песчаные, двухъ-этажные, устроены по образцу фильтровъ города Альтоны, при чемъ нижній этажъ служитъ запаснымъ резервуаромъ для воды. Фильтрующій слой толщ. около 4 фут. (1,2 метр.) состоитъ изъ камня, гравія и песку. При фильтрахъ имѣются два осадочныхъ бассейна въ видѣ длиннаго корридора, по которому протекаетъ вода, и одинъ сборный бассейнъ емкостью въ 100.000 вед. (1200 куб. метр.) Производительность фильтровъ составляетъ отъ 175.000 до 500.000 вед. (2152,5—6150 куб. метр.) въ сутки при площ. въ 19000 кв. фут. (1710 кв. метр.). Дѣйствіе фильтровъ хорошее, но желтизна воды не пропадаетъ, а остается въ водѣ даже послѣ тщательнаго ея фильтрованія.

Городъ Одесса снабжается водой изъ р. Днѣстра, взятой въ 46 верстахъ отъ города; уровень воды въ Днѣстрѣ по временамъ года колеблется на 1,5 саж. (3 метр.). Въ 46 верстахъ отъ города на берегу р. Днѣстра построена каменная набережная; вода изъ рѣки сначала поступаетъ въ два осадочныхъ бассейна съ водосливными стѣнками и отсюда по каменному каналу съ сѣченіемъ 7×4 фут. (2,1×1,2 метр.) и длин. 208,3 саж. (436 метр.) подводится къ насосному помѣщенію, гдѣ она машинами поднимается въ два большихъ открытыхъ резервуара площадью каждый 400×200 фут. (120×60 метр.). Для фильтрованія воды имѣется 5 открытыхъ бетонныхъ фильтровъ съ площадью 260×160 фут. (78×48 метр.) каждый. Толщина фильтрующей постели 5′ 8″ (1,7 метр.), изъ коихъ 3′ (0,9 метр.) мелкаго песку, 8″ (0,2 метр.) гравія и 2′ (0,6 метр.) щебня. Общая площадь всѣхъ пяти фильтровъ составляетъ 4245 кв. саж. (19100 кв. метр.). Наибольшее количество фильтруемой воды составляетъ 2,750 000 вед. въ сутки, чему соотвѣтствуетъ скорость фильтраціи около 3″ или 76 миллим. въ часъ. Наибольшее загрязненіе фильтровъ происходитъ весной и осенью. Очистка фильтровъ производится снятіемъ тонкаго слоя песку, и такихъ очистокъ для каждаго фильтра бываетъ до 30 въ годъ. Вода въ рѣкѣ всегда очень грязна, даже и зимой, содержа въ себѣ тончайшую глинистую муть; весной же вода своимъ цвѣтомъ совершенно походитъ на кофе. Но послѣ фильтрованія вода получается совершенно прозрачною. Грязная рѣчная вода изъ открытыхъ бассейновъ помощью насосовъ подается на фильтры, а чистая фильтрованная вода помощью насосовъ подается въ бакъ на промежуточной станціи, откуда она уже накачивается въ городскую сѣть трубъ.

Городъ Царицынъ Саратовской губ. снабжается водой изъ р. Волги. Пріемникъ воды устроенъ слѣдующимъ образомъ: на разстояніи 30 саж. отъ водоподъемнаго зданія въ рѣкѣ

на глубинѣ 4 арш. (отъ меженнаго уровня) расположены всасывающіе клапаны съ сосками, огражденными кругомъ желѣзной сѣткой. Пріемные клапаны и соски защищены отъ ледохода сваями съ каменною отсыпью. Отъ этихъ пріемныхъ клапановъ къ воздушному колпаку вертикальныхъ насосовъ идутъ двѣ всасывающія трубы діам. по 8″. Вода изъ Волги подается сперва въ 3 отстойныхъ бассейна емкостью по 50,000 ведеръ каждый; отстойники выложены изъ камня, покрыты сводами и внутри оштукатурены цементомъ. Изъ этихъ отстойниковъ вода поступаетъ въ фильтръ, состоящій изъ трехъ отдѣленій, изъ коихъ каждое имѣетъ въ основаніи квадратную форму со стороной въ 5 саж.; дно бетонное; стѣны имѣютъ толщину внизу $2^1{}_2$ кирпича, а вверху 2 кирпича, и внутри выштукатурены цементнымъ слоемъ въ $^1/_2$″. Фильтръ весь помѣщается въ землѣ, за исключеніемъ входныхъ дверей, и покрытъ каменными сводиками, поверхъ которыхъ насыпанъ слой земли толщ. 12 вершк. Толщина фильтрующей постели 5 фут., изъ коихъ нижній слой крупнаго бутоваго камня толщ. 1 футъ, слѣдующій затѣмъ слой тоже толщ. 1 футъ состоитъ изъ такого же бутоваго камня болѣе мелкаго, третій слой толщ. 6″ состоитъ изъ мелкаго щебня, четвертый слой толщ. тоже 6″ состоитъ изъ гравія, и, наконецъ, пятый верхній слой толщ. 2 фута состоитъ изъ бѣлаго средней крупности песка. Полная фильтрующая поверхность всѣхъ трехъ фильтровъ составляетъ 72 кв. саж.; каждый отдѣльный фильтръ даетъ 15000 до 25000 вед. воды въ сутки, въ зависимости отъ чистоты верхняго фильтрующаго слоя. Каждый кв. футъ фильтрующей площади пропускаетъ въ сутки отъ 13 до 21 ведра. Весной вода въ Волгѣ бываетъ очень грязна и не успѣваетъ отстаиваться въ отстойникахъ, вслѣдствіе чего фильтры загрязняются черезъ 4—5 дней; въ лѣтнее и особенно въ осеннее время фильтры загрязняются черезъ 8—12 дней, а въ зимнее время фильтры служатъ безъ очистки не менѣе 1 мѣсяца. Въ холодныя же зимы безъ сильныхъ оттепелей загрязненія фильтровъ не бываетъ и по 2 мѣсяца. Чистка фильтровъ производится снятіемъ слоя песку; спусканіе воды изъ фильтра и очистка его требуютъ не болѣе 2-хъ сутокъ; самая же чистка требуетъ 5—6 часовъ, при 2-хъ рабочихъ, причемъ загрязненнаго песка снимается до 0,36 куб. саж. Пятилѣтняя работа фильтровъ показала пониженіе производительности ихъ за это время почти на 20%.

Городъ Гельсингфорсъ снабжается водой изъ р. Ванда при впаденіи ея въ Финскій заливъ на разстояніи около 5 километр. отъ Гельсингфорса у такъ называемаго Стараго города. Рѣка эта, занимающая со своими притоками область въ 5000 квадр. килом., образуетъ въ этомъ мѣстѣ водопадъ въ 6 метр. вышины, сила котораго утилизируется для подъема и доставки воды въ городъ. Количество воды въ р. Вандѣ весьма перемѣнно, но до сихъ поръ оно, однако, не падало ниже 1,3 куб. метр. (46 куб. фут. или 105,8 вед.) въ секунду. По своему качеству вода очень мягка, богата растительными веществами, желтоватаго цвѣта и обыкновенно загрязнена глинистою мутью. Уровень воды въ рѣкѣ Вандѣ колеблется по временамъ года приблизительно на 3 метра. Пріемникомъ служитъ гранитный колодецъ, къ которому вода поступаетъ изъ рѣки по чугунной трубѣ діаметр. 406 миллим. (16″). Фильтрація производится въ трехъ открытыхъ бассейнахъ, площадь которыхъ составляетъ 1989 кв. метр. Вода проходитъ внизъ черезъ слои мелкаго песка въ 650—400 миллим., крупнаго песка въ 150 миллим., гравія 150 и щебня въ 500 миллим. Нормальное количество фильтрованной воды составляетъ 230—76 литр. въ 1 часъ на 1 кв. метръ. Засореніе происходитъ черезъ $1^1/_2$ до 8 недѣль. Верхній слой при чисткѣ сгребается до глубины 20—40 мм. и промывается. Число фильтровъ не соотвѣтствуетъ количеству потребной воды, особенно когда вода въ рѣкѣ загрязняется. Въ настоящее время устраиваются еще три фильтра. Результатъ 63 бактеріологическихъ анализовъ воды, произведенныхъ въ 1894 году, показалъ, что нефильтрованная вода содержитъ въ среднемъ 35,000 бактерій (максимумъ 60,687), а фильтрованная—2000 бактерій (максимумъ 3900) въ 1 куб. сант.

Городъ Херсонъ снабжается рѣчной водой изъ р. Днѣпра. Пріемникомъ воды служитъ шарнирная труба, проложенная по дну рѣки; пріемный конецъ трубы находится на глубинѣ 5 саж. отъ поверхности; надъ трубой имѣется плавучій бакенъ на якоряхъ. Рѣчная вода помощью парового насоса подается прямо на фильтры, устроенные съ каменными стѣнами и бетонными подошвами и покрытые толемъ. Зимой фильтры отапливаются паромъ. Вся площадь фильтровъ составляетъ 256 кв. саж. (1152 кв. метр.), и раздѣлена на 4 отдѣленія. Толщина фильтрующей постели 4′ 6″ (1,35 метр.), изъ коихъ крупнаго камня—8″, мелкаго камня 6″, морскаго гравія—6″, мелкаго 6″ и песку 28″. Количество фильтрованной воды составляетъ 12500 вед. (153,75 куб. метр.) въ часъ, чему соотвѣтствуетъ скорость фильтраціи 5,21″ или 132 мм. Засореніе фильтровъ происходитъ въ лѣтнее время приблизительно черезъ мѣсяцъ,

во время весенняго разлива черезъ 2 недѣли, а зимой—черезъ 2—3 мѣсяца. Очистка производится снятіемъ небольшой части верхняго слоя, а разъ въ годъ, осенью, добавляется свѣжій песокъ до первоначальной нормальной толщины его.

Городъ Плоцкъ снабжается фильтрованной водой р. Вислы. Водоподъемная станція расположена на берегу р. Вислы выше города. Всасывающая чугунная труба діам. 8″, идущая къ насосамъ, уложена въ рѣкѣ на сваяхъ, обсыпанныхъ камнемъ на глубинѣ 0,23 саж. ниже самаго низкаго уровня воды, и выдается въ русло рѣки на 22 сажени отъ берега, оканчиваясь забирнымъ клапаномъ съ металлическимъ сѣтчатымъ ящикомъ. При входѣ въ водоподъемное зданіе труба снабжена сѣткой для процѣживанія воды и всасывающимъ воздушнымъ котломъ діам. 2′, выс. 7′. Рѣчная вода помощью пароваго насоса подается въ два отстойныхъ бассейна емкостью каждый по 40000 вед. (49 куб метр.), откуда она поступаетъ въ 3 фильтра, устроенные изъ камня и покрытые общею крышей. Фильтрующая поверхность каждаго фильтра составляетъ 931 кв. футъ (84 кв. метр.) и въ 24 часа пропускаетъ 9000 вед. (110 куб. метр.) воды. Фильтрующій матеріалъ толщ. 4′ расположенъ такъ: внизу слой крупнаго камня толщ. 6″, поверхъ котораго лежитъ слой болѣе мелкаго камня толщ. также 6″, затѣмъ 2 слоя крупнаго и мелкаго гравія и крупнаго песка толщ. по 6″, и, наконецъ, поверхъ всего слой самаго чистаго песка толщ. 1′½′. При разсчетѣ фильтровъ скорость фильтрованія принята 6″ въ часъ. Фильтрованная вода собирается въ каменномъ, подземномъ, сводчатомъ резервуарѣ емкостью въ 18000 ведеръ, откуда нагнетается насосами въ городской напорный бакъ, изъ котораго она уже поступаетъ въ сѣть городскихъ трубъ.

Городъ Двинскъ (Витебской губ.) снабжается фильтрованной водой изъ р. Западной Двины. Конецъ чугунной всасывающей трубы (діам. 10″) выдвинутъ въ рѣку на 5 саж. отъ обрѣза берега при самомъ низкомъ стояніи воды въ рѣкѣ; онъ подвѣшенъ при помощи шарнирнаго соединенія и во всякое время можетъ быть поднятъ для очистки. Вода насосомъ подается на фильтры, состоящіе изъ 3-хъ отдѣленій съ общею фильтрующей площадью въ 102 кв. саж. (459 кв. метр.) и съ фильтрующими слоями, расположенными слѣдующимъ образомъ: сначала идетъ рядъ кирпичныхъ каналовъ высот. въ 3 вершка, далѣе сплошной кирпичный полъ и на немъ 3″ крупнаго щебня, 3″ мелкаго щебня, 3″ гравія, 3″ крупнаго песка и 18″ мелкаго песка. При работѣ двухъ отдѣленій фильтровъ получается до 80000 ведеръ (984 куб. метр.) фильтрованной воды въ сутки. Чистка фильтровъ весной производится черезъ 2—3 дня; лѣтомъ и осенью — черезъ недѣлю, а зимой черезъ 2—2½ недѣли. Фильтры работаютъ вполнѣ удовлетворительно, доставляя постоянно совершенно чистую и прозрачную воду. Сборный бассейнъ чистой воды имѣетъ площадь сѣченія въ 36 кв. саж. и глуб. 2 саж.; отъ него насосомъ вода накачивается въ запасный резервуаръ.

Городъ Астрахань снабжается фильтрованной водой изъ р. Волги. Пріемная труба оканчивается въ рѣкѣ расширеніемъ на подобіе розана съ полудюймовыми дырами; надъ пріемникомъ поставленъ бакенъ на якорѣ. Вода подается насосомъ въ 2 круглыхъ желѣзныхъ отстойныхъ бассейна емкостью по 100,000 вед.; отсюда вода поступаетъ на фильтръ. Фильтръ состоитъ изъ слоевъ: крупнаго камня, мелкаго каменнаго щебня и гравія общей толщ. 2½′ и слоя песку, толщ. 18″. Вся фильтрующая площадь составляетъ 400 кв. саж. (1800 кв. метр.). Каждая квадр. саж. въ среднемъ очищаетъ 1000 вед. воды въ сутки.

Городъ Симбирскъ снабжается фильтрованной водой изъ р. Свіяги, уровень которой по временамъ года измѣняется на 2¼ аршина. Пріемникомъ воды служитъ 10-и дюймовая труба, оканчивающаяся сѣткой, которая помѣщается въ рѣкѣ, въ огороженномъ въ родѣ колодца мѣстѣ, защищенномъ ледорѣзами. По этой трубѣ вода поступаетъ изъ рѣки самотекомъ въ небольшой пріемникъ, откуда она прямо переходитъ на фильтръ, состоящій изъ 2-хъ половинъ по 25 кв. саж. каждая. Общая толщина фильтрующихъ слоевъ составляетъ 3½′; всѣхъ слоевъ 3: камень, гравій и песокъ, каждый толщ. 14″. Среднимъ числомъ фильтры даютъ около 35000 вед. воды въ 12 часовъ. Насколько дѣйствіе этихъ фильтровъ несовершенно, и насколько качества воды ухудшаются въ весеннее время, показываютъ слѣдующіе результаты анализовъ воды изъ колодца городского фильтра непосредственно послѣ фильтрованія, произведенныхъ 12 Іюля 1893 г. и 11 Апрѣля 1895 г.

Въ 1000 частяхъ воды содержится примѣсей (въ грамм.).	12 Іюля 1893.	11 Апр. 1895.
Общее количество примѣсей	0,003	0,2290
Органическихъ „ . . .	0,002	0,0260
Неорганическихъ „ . . .	0,001	0,2030
Легко окисляющихся орган. веществъ	0,034	0,0810

Описанія водопроводовъ, питающихся нефильтрованной рѣчной водой, мы здѣсь не приводимъ, такъ какъ съ гигіенической стороны они не могутъ считаться вполнѣ безукоризненными, а въ отношеніи техническомъ они собой никакого интереса не представляютъ.

Тѣмъ не менѣе считаемъ нелишнимъ привести здѣсь примѣръ водоснабженія озерной водой.

Городъ Ревель (Эстляндской губ.) снабжается озерной водой, и пріемникомъ воды служитъ колодецъ на берегу озера, соединенный съ послѣднимъ посредствомъ канала, входъ въ который защищенъ отъ льда деревяннымъ ледорѣзомъ. Вода не фильтруется. Половина всего количества (около 468,000 вед. въ сутки) воды доставляется въ городъ самотекомъ, а другая половина—водостолбовой машиной, дѣйствующей подъ напоромъ резервуара и развивающей подъемное давленіе въ 140 фут.

2. Очистка воды кипяченіемъ и дестилляціей.

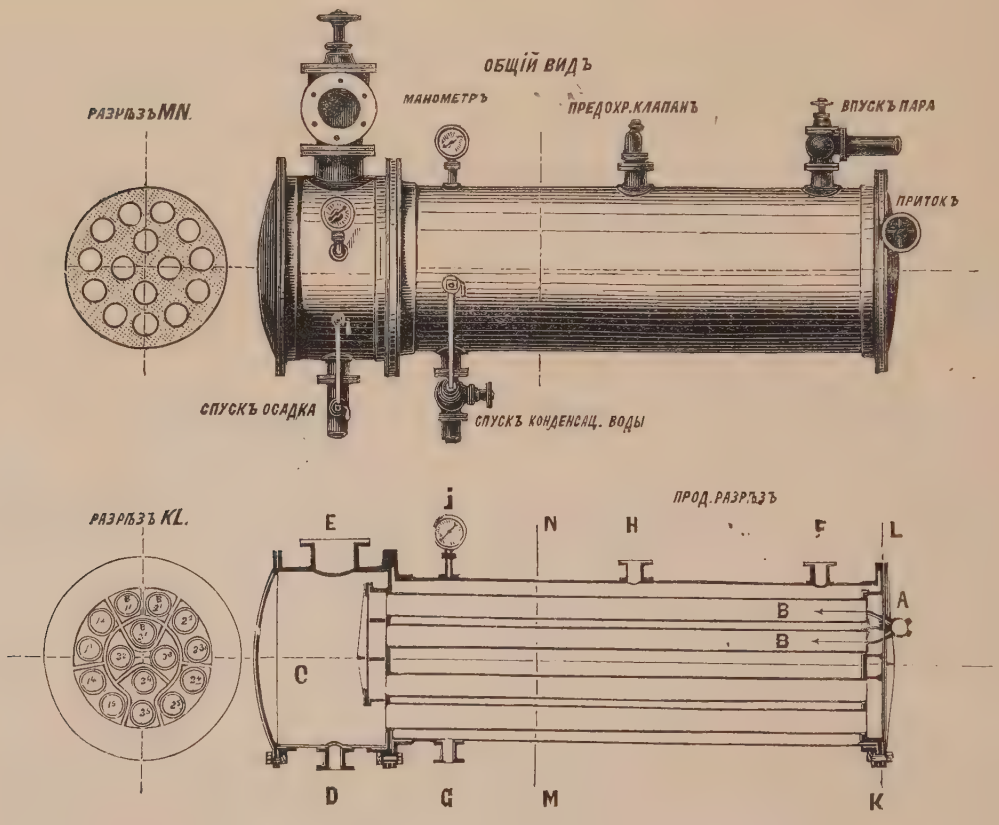
Нѣкоторыя изъ содержащихся въ водѣ солей, какъ увидимъ ниже (см. отд. IV гл. 2), при кипяченіи осаждаются, а нѣкоторыя остаются въ растворѣ; кромѣ того, отъ кипяченія воды, какъ мы упомянули выше, бактеріи осѣдаютъ на дно. Особыя приспособленія для кипяченія воды, примѣняемыя къ водоснабженію въ большихъ размѣрахъ, намъ неизвѣстны; въ небольшихъ же размѣрахъ—въ предѣлахъ отдѣльныхъ домовъ—кипяченіе воды для цѣлей ея обезвреживанія находитъ себѣ обширное примѣненіе.

Количество теплоты, потребное для нагрѣванія воды отъ данной опредѣленной температуры до точки ея кипѣнія, опредѣляется весьма точно по приводимымъ ниже (см. отд. IV, гл. 2) формуламъ. При извѣстномъ, совершенно опредѣленномъ, способѣ нагрѣванія, напр, при данномъ видѣ и толщинѣ стѣнокъ котла, данной топкѣ и проч, нетрудно опредѣлить стоимость топлива, ухода и проч. Общія же правила въ этомъ отношеніи не могутъ быть здѣсь приведены.

Если продолжать нагрѣваніе сосуда, въ которомъ кипятится вода, то послѣдняя обращается въ паръ. Обратнымъ процессомъ (охлажденіемъ) этотъ паръ опять можетъ быть обращенъ въ воду; весь этотъ процессъ въ совокупности извѣстенъ подъ названіемъ „дестилляціи“ или перегонки.

Оба эти процесса примѣняются для превращенія богатой солями или вообще испорченной воды въ питьевую воду или питательную воду для паровыхъ котловъ. Преимущественно въ обширныхъ размѣрахъ этотъ процессъ примѣняется для превращенія морской воды въ прѣсную; ни на одномъ крупномъ суднѣ это приспособленіе не можетъ быть избѣгнуто. Оно состоитъ изъ выпарительнаго и конденсаціоннаго аппаратовъ; первый изъ нихъ развиваетъ паръ, обращаемый вторымъ опять въ капельно-жидкую воду.

И здѣсь теорія даетъ намъ исходную точку для опредѣленія при данныхъ условіяхъ количества требуемаго топлива и т. д., т. е. стоимости всего процесса. Намъ совершенно точно извѣстно количество теплоты, потребное для испаренія жидкой воды данной температуры, а также и то количество теплоты, которое выдѣляется при обратномъ превращеніи или сгущеніи водянаго пара въ капельно-жидкую воду. Тѣмъ не менѣе, вслѣдствіе громаднаго разнообразія побочныхъ обстоятельствъ, здѣсь еще труднѣе привести какія-либо общія исходныя точки, нежели для кипяченія.



Фиг. 125. Испарительный аппаратъ Yaryan. Масштабъ 1:40 нат. велич.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда выдѣляемыя при кипяченіи соли осаждаются на стѣнки кипятильнаго сосуда въ видѣ накипи, производительность выпарительныхъ аппаратовъ постепенно уменьшается; чѣмъ толще слой осѣвшей накипи, тѣмъ менѣе выгодно отношеніе количества сгорѣвшаго топлива къ количеству полученнаго пара. Поэтому подобные сосуды слѣдуетъ часто чистить, при чемъ слѣдуетъ всегда отдавать предпочтеніе той конструкціи, при которой происходитъ наименьшее образованіе накипи.

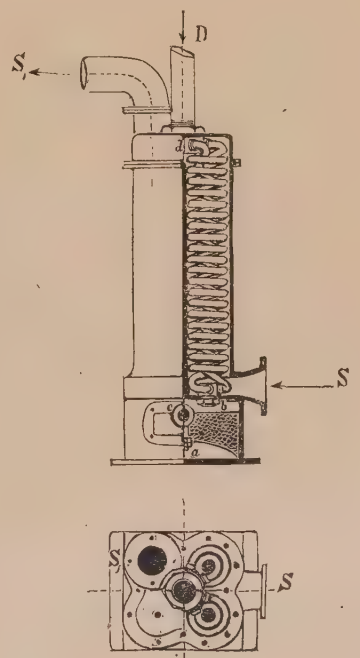
Конденсаціонные или сгустительные аппараты обыкновенно состоятъ изъ змѣевиковъ, снаружи омываемыхъ холодной водой, а внутри проводящихъ назначаемый для сгущенія водяной паръ, поступающій изъ паровика. Выдѣляющаяся при сгущеніи теплота сообщается охлаждающей водѣ, вслѣдствіе чего послѣдняя должна постоянно замѣняться свѣжею.

Оба процесса обыкновенно организуютъ такъ, что охлаждающая вода, нагрѣваемая въ конденсаціонномъ аппаратѣ, проводится къ выпарительному аппарату и употребляется для превращенія въ паръ, чѣмъ потеря теплоты уменьшается до минимума.

Выпарительные аппараты Выпарительные аппараты (эвапораторы) можно раздѣлить на такіе въ которыхъ образованіе пара происходитъ изъ неподвижной воды, и такіе, въ которыхъ образованіе пара происходитъ изъ движущейся воды. Первые аппараты весьма мало отличаются отъ обыкновенныхъ паровыхъ котловъ; въ нихъ происходитъ чрезвычайно обильное образованіе накипи, и поэтому они примѣняются сравнительно довольно рѣдко. Аппараты, въ которыхъ образованіе пара происходитъ изъ движущейся воды, получаютъ воду въ видѣ струй и приспособлены такъ, что осадки могутъ быть отведены изъ воды раньше превращенія ихъ въ накипь.

Изъ аппаратовъ второй категоріи опишемъ здѣсь выпаритель парохода „Yaryan“, весьма удачной конструкціи, которая соотвѣтствуетъ изложенному здѣсь принципу. Этотъ аппаратъ изображенъ на фиг. 125; испареніе впрыскиваемой воды производится дѣйствіемъ пара изъ котла, какъ это имѣетъ мѣсто на всѣхъ судовыхъ аппаратахъ. Кромѣ того аппаратъ можетъ быть снабженъ и отдѣльной топкой.

Нагрѣтая въ конденсаціонномъ аппаратѣ охлаждающая вода (соленая, морская) поступаетъ въ приборъ въ A и въ видѣ отдѣльныхъ струй проходитъ въ трубы B_1', B_2', B_3'. По этимъ трубамъ она прежде всего подходитъ къ щиту, раздѣляющему трубчатый котелъ отъ пространства C; отсюда вода направляется обратно по трубкамъ 1_2, 2_2, 3_2, изъ которыхъ она опять направляется впередъ по трубкамъ 1_3, 2_3, 3_3, чтобы по трубкамъ 1_4, 2_4, 3_4 опять направиться назадъ, и, наконецъ, по трубкамъ 1_5, 2_5, 3_5 она опять направляется впередъ въ пространство C. Эти трубки съ соотвѣтствующими нумерами показаны на поперечномъ разрѣзѣ по KL, на которомъ видны также камеры, образуемыя щитомъ или его выступами и вызывающія движеніе воды по трубамъ.



Фиг. 126. Конденсаторъ Киркальди. Масштабъ 1 : 60 н. в.

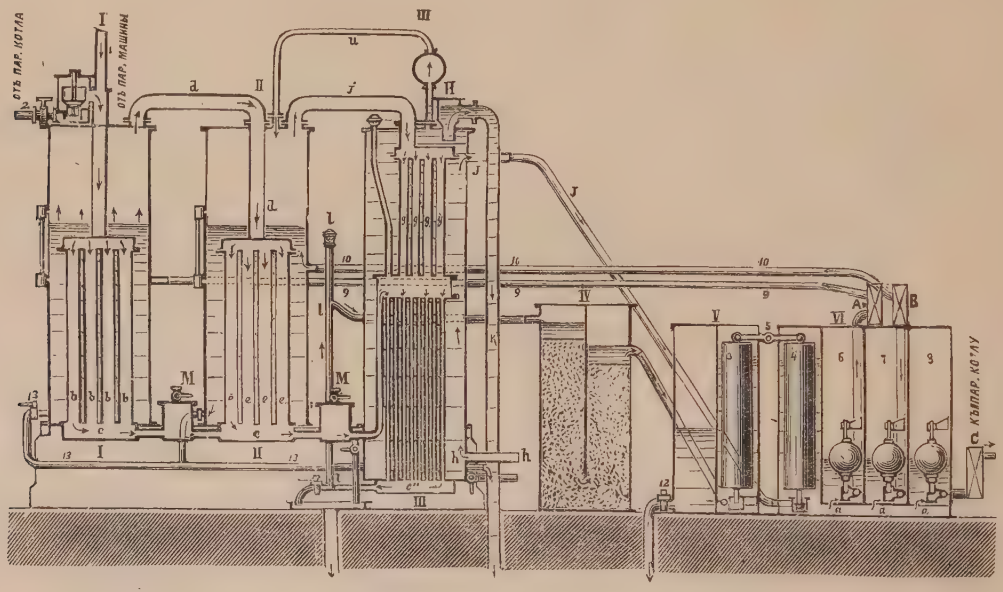
Вокругъ трубокъ въ сосудѣ находится горячій паръ, давленіе котораго указывается манометромъ J, и который на поперечномъ разрѣзѣ MN обозначенъ пунктирно заштрихованной плоскостью. Паръ впускается въ аппаратъ при F; конденсаціонная вода можетъ быть спущена при G; на патрубкѣ H сидитъ предохранительный клапанъ.

Во время быстраго передвиженія впрыскиваемой воды по трубамъ, около 75% ея превращается въ паръ; остальная вода—при выпариваніи морской воды—представляетъ собой концентрированный грязный разсолъ, изливающійся изъ пространства C въ выпускную трубу, изъ которой она выкачивается насосомъ. Эти выпарительные аппараты изготовляются различныхъ величинъ, и въ зависимости отъ ихъ величины изготовляющіе ихъ заводы гарантируютъ опредѣленное парообразованіе. Паръ изъ пространства C направляется къ конденсатору.

Конденсирующіе аппараты. Конденсаторы могутъ быть устроены различнымъ образомъ. Одна изъ такихъ конструкцій, требующая весьма мало мѣста, показана на фиг. 126 и предложена Киркльди въ Лондонѣ. Этотъ аппаратъ въ теченіе 6 минутъ сгущаетъ 45 килогр. пара температуры 142° C, при чемъ охлаждающая вода поступаетъ въ аппаратъ при S съ температурой 17° C и выходитъ изъ него при S_1, съ температурой 33° C. Паръ изъ выпарительнаго аппарата поступаетъ въ змѣевикъ по трубѣ D и выходитъ изъ него по патрубку b въ видѣ жидкой воды, проходя черезъ фильтръ въ водяное пространство a, изъ котораго она по отводной трубѣ c направляется къ сборнику чистой воды. Въ показанномъ на фиг. 126 аппаратѣ имѣется 4 отдѣленія, въ каждомъ изъ которыхъ расположено 2 свернутыхъ вмѣстѣ

змѣевика; для меньшей производительности аппараты устраиваются съ 2-мя или даже съ однимъ цилиндромъ.

Для приготовленія большихъ количествъ дестиллированной воды изъ морской воды въ гавани Флиссингенѣ до самаго послѣдняго времени существовало приспособленіе, изображенное на фиг. 127 [1]). Морская вода выпаривается въ паровомъ котлѣ обыкновенной конструкціи, доставляющемъ паръ для приведенія въ движеніе паровой машины съ потребными для всасыванія воды насосами и проч. Конденсаторъ I получаетъ паръ непосредственно изъ котла по трубѣ 2 и кромѣ того еще отработавшій въ машинѣ паръ, поступающій по трубѣ 1. Впускъ пара изъ котла регулируется помощью вентиля такимъ образомъ, что онъ проходитъ только тогда, когда рабочее давленіе въ котлѣ больше 0,7 атм. Когда тѣмъ или инымъ способомъ паръ поступитъ въ конденсаторъ I, то онъ осаждается въ трубкахъ b, b, снаружи омываемыхъ охлаждающей водой, затѣмъ собирается въ видѣ конденсаціонной воды въ резервуаръ c, изъ котораго по соединительной трубѣ съ воздушнымъ котломъ M она поступаетъ въ c'



къ сточному каналу | къ сточному каналу | къ резервуару прѣсной воды.

Фиг. 127. Схематическое изображеніе перегоннаго аппарата для морской воды въ гавани Флиссингенѣ.

Выдѣляющаяся при конденсаціи въ I теплота испаряетъ также и часть охлаждающей воды въ I, которая постоянно замѣняется новой посредствомъ насоса A (изображеннаго на чертежѣ прямоугольникомъ съ перекрещивающимися діагоналями). Паръ, образующійся изъ охлаждающей воды, выходитъ по соединительной трубѣ d къ конденсатору II, гдѣ онъ сгущается въ воду въ трубкахъ e, e, поступая также въ c' въ видѣ капельной-жидкой воды. Охлаждающая вода въ конденсаторѣ II по мѣрѣ ея испаренія пополняется посредствомъ насоса B. Образующійся въ конденсаторѣ II водяной паръ отъ испаренія охлаждающей воды поступаетъ такимъ же образомъ, какъ и выше было описано, въ конденсаторъ III, гдѣ онъ сгущается въ трубкахъ g, g и въ видѣ жидкой воды, вмѣстѣ съ притекающей изъ c въ c' черезъ воздушный котелъ M и соединенную съ ней подъемную трубу, поступаетъ въ c''. Въ конденсаторъ III холодная морская вода для охлажденія поступаетъ непрерывно по трубѣ h и спускается по трубѣ k въ выпускной каналъ. Изъ пространства c'' конденсаціонная вода двигается назадъ по направленію стрѣлокъ и поднимается по открытой сверху трубѣ l, изъ кото-

[1]) Такъ какъ въ настоящее время во Флиссингенѣ устроено водоснабженіе изъ дюнъ, доставляющее болѣе дешевую питьевую воду, то этотъ аппаратъ изъятъ изъ употребленія. Стоимость его была 28,000 голландскихъ гульденовъ.

рой она направляется къ фильтру IV, гдѣ она очищается, и затѣмъ поступаетъ въ двухмѣстный котелъ V, а отсюда выходитъ въ резервуаръ прѣсной воды.

Обращенныя другъ къ другу отдѣленія котла V и VI снабжены двумя цилиндрическими поплавками 3 и 4, соединенными въ верхнихъ концахъ помошью качающагося вокругъ оси 5 коромысла, а въ нижнихъ концахъ они соединяются съ вентилями. Остальныя три отдѣленія котла VI, т. е. пространства 6, 7 и 8, снабжены 3-мя шаровыми поплавками, нижніе концы, которыхъ снабжены клапанами, регулирующими притокъ воды къ насосамъ *A*, *B* и *C*. Котелъ VI помощью трубы *J* соединенъ съ котломъ III; въ *C* расположенъ питательный насосъ для парового котла.

Цѣль описаннаго устройства состоитъ въ томъ, чтобы установить и поддерживать соотвѣтствіе притока охлаждающей воды съ образованіемъ прѣсной воды или количествомъ притекающаго къ котлу I пара. При уменьшеніи притока пара соотвѣтственно уменьшается и количество сгущенной воды; при пониженіи уровня воды въ котлѣ V поплавокъ 3 опускается, между тѣмъ какъ поплавокъ 4 котла VI поднимается, чѣмъ надлежащимъ образомъ устанавливается соединенный съ нимъ вентиль впускной трубы *J*. При этомъ въ котелъ VI поступаетъ меньше питательной воды; поплавки въ пространствахъ 6, 7 и 8 также опускаются и увеличиваютъ сопротивленія поступающей во всасывающую трубу водѣ, уменьшая такимъ образомъ количество воды, доставляемой насосами; вмѣстѣ съ тѣмъ котламъ I и II доставляется меньшее количество охлаждающей воды. При обратныхъ условіяхъ дѣйствіе частей аппарата происходитъ въ обратномъ направленіи.

Притекающая въ котелъ III морская вода содержитъ въ себѣ значительное количество воздуха, который не можетъ удалиться по трубѣ *K*, образующей водяной затворъ; этотъ воздухъ поднимается по трубѣ *u*, оставляя въ шаровой камерѣ механически увлеченную воду и попадая въ котелъ II, гдѣ онъ смѣшивается съ водянымъ паромъ и доставляетъ конденсаціонной водѣ необходимое содержаніе воздуха.

Обозначенная черезъ 13 труба и спускные краны служатъ для опоражниванія и прополаскиванія различныхъ котловъ.

Въ среднемъ это приспособленіе доставляло 1 куб. метръ воды въ часъ, или соотвѣтственно 1 килограммомъ угля доставлялось 18 килогр. воды.

Обращеніе морской воды въ прѣсную (дестиллированную) описаннымъ здѣсь путемъ представляетъ собой чрезвычайно дорогую операцію; въ рѣдкихъ случаяхъ возможно получить 1 куб. метръ воды дешевле 1,5 до 3 марокъ (75—1 р. 50 к.). Между тѣмъ во многихъ случаяхъ опрѣсненіе воды составляетъ единственное средство полученія питьевой воды. Получаемая вода, если къ ней примѣшано необходимое количество воздуха, вполнѣ годна для питья; но тѣмъ не менѣе она всегда имѣетъ своеобразный, нѣсколько непріятный, вкусъ. Прибавленіе сахара или щавелевой кислоты къ сырой водѣ до дестилляціи улучшаетъ вкусъ дестиллята.

Были также произведены опыты примѣненія солнечной теплоты для испаренія морской воды и полученія такимъ образомъ дестиллированной воды [1]); сюда можно также отнести опыты сгущенія содержащихся въ атмосферномъ воздухѣ водяныхъ паровъ путемъ соприкосновенія съ искусственно охлажденными поверхностями, и т. д.

6. Подготовительныя работы для сбора воды изъ подземныхъ водяныхъ потоковъ.

Выше нами были приведены основныя соображенія относительно свойствъ, количества и постоянства получаемыхъ въ данной мѣстности грунтовыхъ водъ. Ссылаясь на вышеприведенныя соображенія, можно прежде всего констатировать, что вѣроятность или даже достовѣрность полученія въ предѣлахъ какой-либо области опредѣленнаго количества грунтовыхъ водъ еще не

[1]) Scient. Americ. Suppl. за 1883 г., стр. 6461.

представляетъ собой рѣшенія вопроса о водоснабженіи. Послѣ установленія этой вѣроятности какъ разъ и наступаютъ дѣйствительныя затрудненія, такъ какъ тогда уже является вопросъ о точномъ опредѣленіи мѣста, гдѣ вода можетъ быть выведена на дневную поверхность наиболѣе выгоднымъ въ экономическомъ отношеніи путемъ, т. е. при наименьшихъ затратахъ.

Здѣсь главнымъ образомъ представляется необходимость рѣшенія двухъ задачъ: или требуется изслѣдовать, могутъ ли быть увеличены количества воды изъ существующихъ уже истоковъ грунтовыхъ водъ, или же требуется вообще добыть опредѣленное количество воды при отсутствіи какихъ-либо общихъ указаній.

Увеличеніе количества добываемой изъ горныхъ ключей воды, путемъ обдѣлки было нами указано выше (см. гл. 4). При этомъ прежде всего необходимо убѣдиться, можетъ ли быть увеличенъ притокъ къ существующему выходу воды, и въ какомъ именно направленіи можетъ произойти это увеличеніе. Затѣмъ необходимо изслѣдовать, какіе именно пути прокладываетъ себѣ вода, иногда не выхоящая на дневную поверхность. При этихъ изслѣдованіяхъ раньше всего необходимо прибѣгнуть къ геогностическимъ изысканіямъ, которыя обыкновенно не даютъ непреложныхъ заключеній. При существованіи взброса породъ обыкновенно допускаютъ существованіе различныхъ водоносныхъ ходовъ, образовавшихся самыми разнообразными путями; такимъ образомъ большей частью непреложныя данныя для открытія этихъ водоносныхъ путей отсутствуютъ. Кромѣ того, здѣсь является еще неблагопріятное въ практикѣ условіе: буреніе въ твердыхъ породахъ, которое прежде всего можетъ давать нѣкоторыя надежныя исходныя точки, обходится чрезвычайно дорого, такъ что рѣдко рѣшаются примѣнять этотъ способъ изысканій.

Поэтому въ твердыхъ породахъ очень трудно узнать опредѣленное направленіе для выхода воды. Исключенія отсюда составляютъ описанные выше (см. отд. I гл. 10) случаи развалинъ въ породѣ, прослоекъ или разслоеній камней и тому подобныхъ условій, вліяющихъ на ходъ воды. Вообще же водоносныя жилы большей частью расположены въ мѣстахъ взброса породъ, въ щеляхъ, усадочныхъ трещинахъ и т. д., такъ что можно работать на весьма небольшомъ протяженіи справа или слѣва отъ такой жилы и не уловить текущей по ней воды, причемъ здѣсь, какъ и въ горномъ дѣлѣ, приходится указывать на „случай“.

Для подобныхъ случаевъ нельзя привести здѣсь какіе-либо общіе пріемы и методы. Безъ сомнѣнія здѣсь окажется полезнымъ изученіе водоемкости породы (отд. I, гл. 6), по которой получаютъ нѣкоторое понятіе о скопленныхъ запасахъ воды. Параллельно съ этимъ должно идти изслѣдованіе стоянія грунтовой воды въ данной горной области. Всѣ ключи и колодцы должны быть нанесены на планъ, для возможности тщательнаго вычерчиванія профили отмѣтокъ уровней грунтовыхъ водъ.

Если затѣмъ согласно изложеннымъ выше (см. от. I) общимъ пріемамъ оріентированія и на основаніи спеціальныхъ изслѣдованій остановились на извѣстномъ наиболѣе удобномъ способѣ усиленія истока ключа или на его работкѣ, то искусство будетъ состоятъ въ томъ, чтобы придать водѣ такое направленіе, при которомъ сопротивленія движенію ея будутъ меньше прежнихъ. Этому-то пути она постояно будетъ слѣдовать.

Для этого никакихъ собственно предварительныхъ работъ не бываетъ, и руководствуются предположеніями. Обыкновенно рекомендуется произвести до

конца всю работу по разработкѣ: заключенія, основанныя на предположеніи, что состояніе породы остается на всемъ пути одинаковымъ съ тѣмъ, какое было найдено для опредѣленнаго протяженія, бываютъ почти безъ исключенія совершенно неправильны. Точно также весьма неправильно будетъ по результатамъ изслѣдованій одной области вывести заключеніе о предполагаемыхъ результатахъ для другой подобной ей области.

Очень часто путемъ опыта убѣждаются, что по мѣрѣ продолженія подготовительныхъ работъ мѣняется мѣсто выхода притекающей воды: если оно сначала было впереди и втеченіе работъ оно постоянно отодвигается назадъ, то это можетъ служить указаніемъ на то, что или въ данномъ случаѣ нѣтъ надежды на увеличеніе количества воды, или-же что эта цѣль вѣр нѣе можетъ быть достигнута въ другомъ направленіи, перпендикулярномъ принятому. Зависимость большей частью выражается въ томъ, что въ первомъ случаѣ работаютъ по направленію, перпендикулярному къ направленію пластовъ, а во второмъ работа ведется параллельно этому направленію; въ послѣднемъ случаѣ пересѣкаютъ и тѣ водяныя струи, которыя протекаютъ по поперечной щели. При устройствѣ штоленъ въ трещиноватыхъ горныхъ областяхъ, иногда въ водѣ является муть, которая служитъ яснымъ указаніемъ, что причина ея не кроется въ инфильтраціи снаружи. По этой мути слѣдуетъ заключать объ обвалахъ мягкихъ породъ въ нѣдрахъ земли, а вмѣстѣ съ тѣмъ о значительныхъ полостяхъ и пустотахъ, по которымъ движется главный водяной потокъ. Въ подобныхъ случаяхъ всегда слѣдуетъ прослѣдить такія водяныя жилы.

Съ большей достовѣрностью можно дѣлать правильныя заключенія изъ предварительныхъ работъ, если имѣютъ дѣло съ совершенно однороднымъ и заключающимъ въ себѣ однѣ только волосныя скважины водоноснымъ пластомъ; въ подобномъ случаѣ предварительныя работы имѣютъ весьма важное значеніе.

Если имѣемъ дѣло съ ключемъ, выступающимъ въ болѣе или менѣе значительной, покрытой горными обломками, области, то въ томъ случаѣ, когда непроницаемый слой не обнаруживается непосредственно подъ ключемъ, съ достовѣрностью можно заключить о существованіи крупнаго грунтоваго потока. Предварительныя работы въ этомъ случаѣ состоятъ въ отысканіи непроницаемаго слоя путемъ буренія и въ опредѣленіи количества протекающей подъ ключемъ воды. Этотъ же способъ примѣнимъ и для всякаго другого грунтового потока.

Въ случаѣ совершенно однороднаго водоноснаго слоя нетрудно узнать существованіе теченія воды и опредѣлить его направленіе (см. ниже отд. IV, гл. 20). Лучшимъ средствомъ оріентированія въ данномъ случаѣ служитъ планъ отмѣтокъ грунтоваго горизонта, т. е. разрѣзы послѣдняго равностоящими одна отъ другой горизонтальными плоскостями. При извѣстномъ опредѣленномъ положеніи непроницаемаго пласта можетъ быть опредѣлена и скорость теченія, а также и количество протекающей по потоку воды. Для вѣрнаго заключенія о количествѣ необходимо знать не только паденіе грунтоваго горизонта, по которому опредѣляется скорость, но также и измѣненіе скорости потока по вертикальному направленію, т. е. необходимо знать, имѣемъ ли мы въ данномъ случаѣ дѣло со всѣмъ поперечнымъ сѣченіемъ водяного потока или только съ частью его (см. отд. IV, гл. 20).

Для опредѣленія скорости теченія въ совершенно однородномъ водоносномъ слоѣ весьма раціонально примѣнять способъ Тима [1]). Буровая ложка заполненная поваренной солью, впускается въ извѣстномъ мѣстѣ въ грунтовую воду Въ упомянутомъ мѣстѣ воображаютъ струю, параллельную линіямъ теченія, т. е. перпендикулярную горизонталямъ уровня грунтовыхъ

[1]) Ср. Отд. IV, гл. 20 и Journ. f. Garbel. u. Wasservers. за 1888 г. т. 31, стр. 18.

водъ. Наблюдая затѣмъ на этой линіи (на извѣстномъ разстояніи L отъ буровой ложки) время, по истеченіи котораго наступаетъ наибольшее содержаніе въ водѣ поваренной соли, получаемъ скорость грунтовой воды $= \frac{L}{T}$, гдѣ T означаетъ упомянутое время въ секундахъ. Прослѣдивъ затѣмъ горизонтъ наибольшаго содержанія поваренной соли, можно избѣгнуть ошибки, могущей произойти отъ смѣшенія диффузіонной скорости со скоростью грунтоваго потока.

Необходимо имѣть въ виду, что однородность водоноснаго слоя, т. е. отсутствіе неправильныхъ въ немъ наслоеній и проч., въ практикѣ встрѣчается весьма рѣдко. Чаще всего имѣютъ мѣсто обратныя условія. Поэтому въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ необходимо тщательно изслѣдовать, насколько правильно оказывается сдѣланное нами предположеніе объ однородности водоноснаго слоя, раньше, чѣмъ сдѣлать какое-либо, извѣстное основанное на этомъ предположеніи, заключеніе. Кромѣ того, какъ увидимъ ниже, строго теоретически невозможно предполагать равномѣрную скорость грунтоваго потока по всей проведенной въ какомъ-либо мѣстѣ вертикали, точно также какъ это не допустимо для открытаго потока. Поэтому и здѣсь необходимо прежде всего изслѣдовать возможность допущенія равномѣрной скорости во всемъ разсматриваемомъ сѣченіи безъ слишкомъ большой погрѣшности. Только послѣ повѣрки всѣхъ этихъ условій можно окончательно рѣшить, получится ли въ извѣстныхъ предѣлахъ количество имѣющейся въ распоряженіи воды простымъ помноженіемъ площади сѣченія на скорость воды.

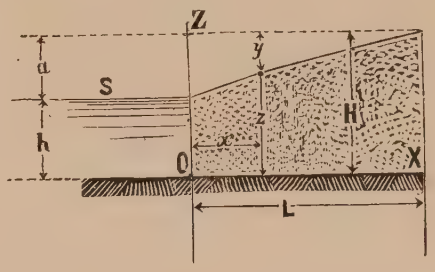
Гораздо точнѣе будетъ опредѣленіе количества воды путемъ непосредственнаго измѣренія. Можно, напр., устроить колодецъ въ водоносномъ слоѣ и продолжительное время откачивать изъ него опредѣленное количество воды; изученіе состоянія равновѣсія подобнаго колодца дастъ намъ основныя положенія для сужденія о томъ, при какомъ пониженіи горизонта, или при какомъ увеличеніи діаметра колодца, или устройствѣ цѣлаго кольца колодцевъ и проч. въ томъ же самомъ мѣстѣ можетъ быть получено болѣе значительное количество воды, и вообще можетъ ли быть увеличено количество воды упомянутыми способами. Только тогда правильно будетъ предположить, что устроенный въ другомъ мѣстѣ того же водоноснаго слоя колодецъ при одинаковомъ хозяйствѣ дастъ одинаковые результаты, когда условія водоноснаго слоя въ другомъ мѣстѣ остаются совершенно одинаковыми съ прежними. То же самое справедливо и въ отношеніи заключенія, дѣлаемаго о производительности какого-либо сборнаго канала произвольной длины по производительности какого-нибудь короткаго пробнаго канала (пробной выемки).

Чтобы составить себѣ ясное представленіе о дѣйствіи подобныхъ колодцевъ и сборныхъ каналовъ, прежде всего разсмотримъ теоретически притокъ къ нимъ. При этомъ слѣдуетъ различать два главныхъ случая: во-первыхъ, когда подошва колодца или канала совпадаетъ съ непроницаемымъ слоемъ, и во-вторыхъ, когда непроницаемый слой расположенъ глубже дна колодца или канала.

1. Движеніе воды къ сборнымъ сооруженіямъ и колодцамъ съ водопроницаемыми боковыми стѣнками и съ расположеннымъ на одинаковой глубинѣ съ подошвой водонепроницаемымъ слоемъ.

а. Горизонтальный непроницаемый слой.

Допустимъ, что надъ горизонтальнымъ водонепроницаемымъ слоемъ расположенъ однородный слой песку; въ этомъ слоѣ выкопанъ длинный сборный каналъ (фиг. 128), къ которому вода устремляется съ одной или съ двухъ сторонъ. Въ этомъ случаѣ для каждой стороны этого канала существуютъ извѣстныя соотношенія, которыя будутъ подробно изложены ниже (см. отд. IV, гл. 20).



Фиг. 128.

Въ случаѣ горизонтальнаго непроницаемаго слоя разрѣзъ поверхности грунтовой воды вертикальной плоскостью, проведенной по направленію теченія перпендикулярно къ сборному каналу, даетъ параболу (см. отд. IV, гл. 20), уравненіе которой будетъ:

$$1)\quad z^2 = h^2 + \frac{2Qx}{\varphi lk},$$

гдѣ буквы означаютъ:

Q — количество воды въ кубич. метр. въ секунду;
l — длину канала;
φ — коэффиціентъ свободной для протока профили;
k — коэффиціентъ проницаемости, зависящій отъ природы песку (гравія).

Если на разстояніи L ордината $z = H$, тогда

$$2)\quad Q = \frac{\varphi lk}{2L}(H^2 - h^2) = \frac{\varphi lk\,(H+h)\,a}{2L},$$

гдѣ a означаетъ полное паденіе, $\frac{a}{L}$ — среднее паденіе на единицу длины. Если вода притекаетъ къ каналу съ двухъ сторонъ, то количество воды будетъ вдвое больше выраженнаго ур. 2 [1]).

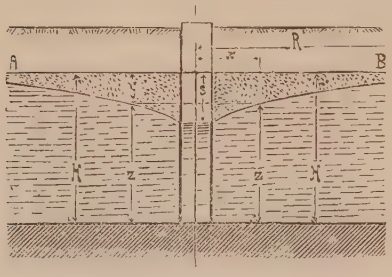
Совершенно тѣмъ же законамъ слѣдуетъ движеніе воды къ колодезной шахтѣ. Если непроницаемый слой и уровень воды до начала произвольнаго расхода изъ шахты расположены горизонтально, то теоретически состояніе равномѣрности можетъ существовать лишь тогда, когда расходъ производится изъ бассейна съ безконечнымъ протяженіемъ и безконечно большимъ количествомъ воды. Вообразимъ себѣ ось колодца перпендикулярною къ горизонтальной плоскости непроницаемаго слоя (фиг. 129); самый колодецъ представимъ себѣ въ видѣ выкопаннаго въ пескѣ (или гравіѣ) цилиндра съ вертикальной производящей и круговой образующей съ центромъ, совпадающимъ съ осью цилиндра и радіусомъ r. Если изъ такого колодца заимствуется вода, то она должна быть опять пополнена грунтовымъ бассейномъ. Но для этой цѣли необходимо движеніе, которое производится тѣмъ, что вслѣдствіе расхода воды понижается уровень ея въ колодцѣ. Этимъ образуются паденія по направленію къ колодцу съ проницаемыми боковыми стѣнками, такъ что вода изъ грунтоваго

[1]) Само собой разумѣется, что лежащій выше L грунтовый резервуаръ долженъ быть въ состояніи постоянно доставлять количество Q, при измѣненіи котораго H не должно замѣтно измѣняться.

бассейна можетъ притекать къ колодцу со всѣхъ сторонъ. Допустимъ, что въ этомъ движеніи наступило состояніе неизмѣняемости или состояніе равновѣсія,

Если разстояніе какой-нибудь концентрической съ колодцемъ кольцевой поверхности отъ оси колодца, измѣряемое по оси абсциссъ, будетъ $= x$, а высота уровня грунтовыхъ водъ надъ непроницаемымъ слоемъ въ этомъ мѣстѣ будетъ z, то, соотвѣтственно изображенному на фиг. 129 разрѣзу черезъ ось x-въ, водопроницаемое сѣченіе F будетъ боковой поверхностью цилиндра радіусомъ x и высотой z, т. е.

$$3)\quad F = 2\pi\varphi\, x\, z,$$



Фиг. 129.

а скорость въ точкѣ (x, z), если Q означаетъ количество воды, будетъ

$$4)\quad u = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{2\pi\varphi\, x\, z},$$

гдѣ φ, какъ и прежде, означаетъ коэффиціентъ водопропускаемости сѣченія. Какъ-бы ось x-овъ не поворачивалась бы на горизонтальной плоскости непроницаемаго слоя, всегда получится одинаковое сѣченіе, изображенное на ф. 129, такъ какъ условія остаются неизмѣнными.

Пусть dz означаетъ высоту напора достаточную для преодолѣнія тренія въ пескѣ между двумя кольцевыми поверхностями, расположенными на разстояніи dx; тогда, какъ увидимъ ниже отд. IV, гл. 20), скорость будетъ:

$$u = k\frac{dz}{dx} = \frac{Q}{2\pi\varphi\, x\, z}.$$

Интегрированіе этого выраженія даетъ:

$$5)\quad z^2 = \frac{Q}{\pi k\varphi}\,\text{lg. nat.}\, x + C.$$

Для наружной оболочки колодца величина z равна глубинѣ воды въ колодцѣ, а $x = r$. Если до начала расхода глубина воды была H_0, а величина s изображаетъ пониженіе уровня воды вслѣдствіе расхода, то для $x = r$ получимъ $C = (H_0 - s)^2 - \frac{Q}{\pi\varphi k}\, lg.\ nat.\ r$, откуда

$$z^2 = (H_0 - s)^2 + \frac{Q}{\pi k\varphi}\,\text{lg. nat.}\,\frac{x}{r}.$$

Это уравненіе, впервые предложенное въ 1870 г. Тимомъ, изображаетъ собой поверхность вращенія; величина x будетъ функціей координатъ, отнесенныхъ къ осямъ, расположеннымъ на горизонтальной плоскости непроницаемаго слоя.

Разрѣзавъ эту поверхность вращенія горизонтальными плоскостями, уравненія которыхъ будутъ $z = c$, получаемъ радіусъ круглаго сѣченія:

$$x = e^{\frac{\pi k\varphi}{Q}\left[c^2 - (H_0 - s)^2 + \frac{Q}{\pi k\varphi}\,\text{lg. nat.}\, r\right]}.$$

Если черезъ R обозначимъ разстояніе (отъ оси), на которомъ z практически близко подходитъ къ высотѣ, соотвѣтствующей уровню воды H_0 въ колодезной шахтѣ до начала расхода, то величины H_0 и R изображаютъ собой соотвѣтственныя значенія для z и x. Подставляя ихъ въ ур. 5 и рѣшая его относительно Q, получимъ

$$6)\quad Q = \pi k\varphi\,\frac{H_0^2 - (H_0 - s)^2}{\text{lg. nat.}\,\frac{R}{r}}.$$

Пониженіе уровня s получается отсюда

$$7)\quad s = H_0 - \sqrt{H_0^2 - \frac{Q}{\pi k\varphi}\,\text{lg. nat.}\,\frac{R}{r}}.$$

Пояснимъ значеніе этой формулы нѣкоторыми примѣрами. Какъ выше было указано, теоретически нарушеніе равновѣсія вслѣдствіе расхода должно обнаружиться на безконечномъ разстояніи отъ оси; но вмѣсто этого для

$z = H_0$ мы ввели конечную, обыкновенно довольно большую, величину $x = R$. Затѣмъ величину R мы разсматриваемъ, какъ неизмѣняющуюся съ величиной расхода, что будетъ только приблизительно правильно, и тѣмъ ближе къ истинѣ, чѣмъ въ болѣе тѣсныхъ предѣлахъ колеблется расходъ воды, и обратно. Впрочемъ послѣдствія неправильнаго принятія R дѣлаются мало чувствительными еще потому, что въ уравненія входитъ только log. nat. R, который при незначительныхъ измѣненіяхъ величины R измѣняется весьма незамѣтно.

1. При колодцѣ наружн. діаметр. 2 метр. на разстояніи $R = 200$ метр. глубина воды $H_0 = 50$ метр. и приблизительно одинакова съ глубиной ея до начала расхода. Водоносному слою соотвѣтствуютъ коэффиціенты $k = \frac{1}{1266}$ и $\varphi = 0{,}38$. Требуется опредѣлить количество воды Q при различныхъ пониженіяхъ уровня s?

Для рѣшенія этой задачи служитъ ур. 6. Подставивъ въ него заданныя численныя значенія, получимъ:

$$Q = \frac{2\pi\varphi k H_0}{\text{lg. nat. } \frac{R}{r}} \left(s - \frac{s^2}{2H_0}\right) = 0{,}0178\ (s - 0{,}01\ s^2).$$

Пренебрегая величиной, помѣщенной въ скобкахъ съ правой стороны уравненія, получаемъ, что для $s = 1{,}00$ метр. величину $Q = 0{,}0178$ куб. метр.; для $s = 2{,}00$ метр. величину $Q = 0{,}0356$ куб. метр.; принявъ-же во вниманіе и величину въ скобкахъ, получаемъ соотвѣтственно $Q = 0{,}0176$ и $Q = 0{,}0349$ куб. метр. Какъ видно, разница получается весьма ничтожная.

Такъ какъ въ колодцахъ большого діаметра пониженіе уровня воды больше, чѣмъ на 2 метра, обыкновенно не происходитъ, то этимъ объясняется часто принимаемый въ практикѣ и основанный на мѣстныхъ наблюденіяхъ законъ, состоящій въ томъ, что для глубокихъ колодцевъ количество доставляемой воды прямо пропорціонально пониженію уровня; для пониженій-же, достигающихъ 3, 4 или болѣе метр. и для не очень глубокихъ колодцевъ, обыкновенная простая пропорція ведетъ къ неправильнымъ результатамъ.

2. Какое количество воды можетъ быть получено отъ колодца діам. 4 метр. при пониженіи уровня на 2 метра и при прочихъ условіяхъ, одинаковыхъ съ приведенными въ примѣрѣ 1?

Подставивъ значеніе $r = 2$ метр. получимъ

$$Q = 0{,}0205\ (s - 0{,}01\ s^2),$$

такъ что при $s = 2$ метр. $Q = 0{,}0402$ куб. метр. Очевидно, что количество воды можетъ быть увеличено только на 5 литр. въ секунду противъ количества, получаемаго изъ колодца діам. 2 метр. при пониженіи уровня на 2 метр.

3. Какое количество воды можетъ быть получено изъ колодца діам. 40 сантим. (трубчатаго колодца) при пониженіи уровня воды на 2 метр. и при прочихъ условіяхъ, одинаковыхъ съ приведенными въ примѣрѣ 1?

Подставивъ значеніе $r = 0{,}2$ метр., получимъ

$$Q = 0{,}0137\ (s - 0{,}01\ s^2),$$

такъ, что при $s = 2$ метр. величина $Q = 0{,}0268$ куб. метр.

Сравнивая это число съ результатами, полученными изъ примѣровъ 1 и 2, мы видимъ, что измѣненіе діаметра колодца не имѣетъ большого вліянія на количество даваемой имъ воды. Колодецъ діам. 4 метр. имѣетъ сѣченіе, въ 100 разъ большее противъ колодца діам 40 сантим., и, несмотря на это, послѣдній при одинаковомъ пониженіи уровня даетъ $^2/_3$ того количества воды, которое доставляется первымъ колодцемъ.

4. Какой наружный діаметръ слѣдуетъ придать колодцу, который при условіяхъ, одинаковыхъ съ приведенными въ примѣрѣ 1 долженъ доставлять 50 литровъ воды въ секунду при пониженіи уровня на 2 метр.?

Для рѣшенія этой задачи воспользуемся ур. 7, изъ котораго послѣ подстановки соотвѣтственныхъ численныхъ значеній получимъ:

$$2{,}0 = 50 - \sqrt{2500 - \frac{0{,}050 \cdot 1266}{3{,}14 \cdot 0{,}38} \text{ lg. nat. } \frac{200}{r}},$$

откуда

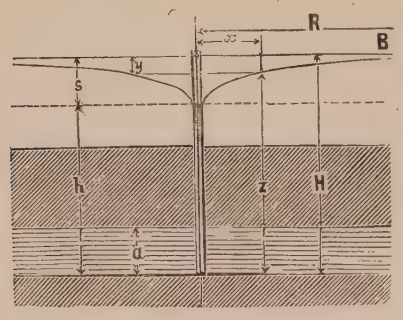
$$\text{lg. nat. } r = \text{lg. nat. } 200 - \frac{3{,}14.0{,}38\ (2500-2304)}{0{,}050.1266} = 1{,}61036, \text{ и}$$

$$r = 5 \text{ метр.}$$

Такимъ образомъ колодецъ долженъ имѣть наружный діаметръ 10 метр.

Основное предположеніе при этихъ вычисленіяхъ, согласно приведеннаго въ началѣ этой главы общаго взгляда, само собой разумѣется, состоитъ въ томъ, что грунтовый резервуаръ, изъ котораго заимствуются указанныя количества воды, въ состояніи постоянно ихъ доставлять. Ниже мы разсмотримъ тѣ явленія, которыя происходятъ въ случаѣ недостаточности грунтоваго резервуара для доставленія требуемаго количества воды.

При такъ называемыхъ артезіанскихъ кололцахъ имѣютъ мѣсто подобныя же условія, какъ и въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ. Допустимъ, что между двумя, водонепроницаемыми слоями ограниченными горизонтальными плоскостями расположено валунное напластованіе мощностью a, которое представляетъ собой водоносный слой для медленно движущагося грунтоваго потока; допустимъ затѣмъ, что въ предѣлахъ нашихъ изысканій давленіе до начала расхода можетъ считаться постояннымъ. Если назовемъ это давленіе черезъ p, то послѣ пробуренія потока уровень воды въ обсадной трубѣ подымется на высоту $H_0 = \frac{p}{\gamma}$. Опредѣленный такимъ образомъ горизонтъ обозначенъ линіей AB (фиг. 130).



Фиг. 130.

Если въ этотъ водоносный слой опустимъ проницаемый по всей своей окружности колодецъ до нижняго непроницаемаго слоя и отрѣжемъ колодецъ на глубинѣ s подъ горизонтомъ AB, то въ этомъ мѣстѣ изъ колодца будетъ выступать вода, и этимъ вызовется устремленіе воды со всѣхъ сторонъ къ части колодца, лежащей въ водоносномъ слоѣ.

На горизонтальномъ разстояніи x отъ оси колодца для движенія воды, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, служитъ цилиндрическая поверхность въ данномъ случаѣ постоянной высоты a, т. е. поверхность x $F = 2\pi\varphi x a$.

Если опять обозначимъ черезъ z ординату вызываемой этимъ движеніемъ депрессіонной поверхности, то эта поверхность, какъ и прежде, должна быть поверхностью вращенія, такъ какъ всѣ проведенныя черезъ ось колодца вертикальныя сѣченія будутъ одинаковы съ сѣченіемъ проведеннымъ черезъ ось x-овъ, чѣмъ опредѣляются одинаковыя условія притока со всѣхъ сторонъ. Если черезъ Q обозначимъ количество притекающей воды, то получимъ

$$u = \frac{Q}{F} = k\frac{dz}{dx} = \frac{Q}{2\pi\varphi x a},$$

которое и представляетъ собой дифференціальное уравненіе движенія.

Интегрированіе этого уравненія даетъ:

$$8)\quad z = \frac{Q}{2\pi\varphi k a}.\ \text{log. nat. } x + C,$$

и такъ какъ для проницаемой оболочки колодца значенія ординатъ соотвѣтственно будутъ $z = H_0 - s$ и $x = r$, то

$$z = H_0 - s + \frac{Q}{2\pi\varphi k a}\ \text{lg. nat. } \frac{x}{r}.$$

Радіусъ круговаго сѣченія, получаемаго отъ разрѣза депрессіонной поверхности 8) какой-нибудь горизонтальной плоскостью $z = C$, опредѣляется:

$$x = e^{\frac{2\pi\varphi k a}{Q}\left(C - H_0 + s + \frac{Q}{2\pi\varphi k a}\text{ tg. nat. } r\right)}.$$

Если черезъ R обозначимъ разстояніе, на которомъ величина z практически дѣлается весьма близкой къ той высотѣ, до которой подымается уровень воды въ обсадной трубѣ до начала расхода, то величины H_0 и R представятъ собой соотвѣтственныя значенія z и x. Подставляя эти величины въ ур. 8) и рѣшая его относительно Q, получимъ:

$$9)\quad Q = \frac{2\pi\varphi k a}{\text{lg. nat. } \frac{R}{r}} . s.$$

Отсюда мы видимъ, что количество воды пропорціонально пониженію уровня въ колодцѣ [1]).

Здѣсь мы пренебрегли особыми сопротивленіями въ подъемной трубѣ и вліяніемъ фонтана, образующагося при изливаніи воды черезъ верхній конецъ трубы. Ниже мы подробнѣе остановимся на этомъ предметѣ и приведемъ нѣкоторые примѣры.

Въ заключеніе замѣтимъ здѣсь, что въ формулахъ 1) до 9) недоступная большей частью для измѣренія перемѣнная z можетъ быть замѣнена значеніемъ входящей въ нее перемѣнной y, значеніе которой $y=N_0-z$ опредѣляется изъ ф. 128, 129 и 130. Значеніе величины y въ практикѣ можетъ быть опредѣлено непосредственнымъ измѣреніемъ.

Введеніемъ этого измѣненія получаются соотвѣтственныя уравненія, обозначаемыя знакомъ a:

$$1a)\ (H_0-y)^2 = (H_0-a)^2 + \frac{2Qx}{\varphi l k}\ \text{(для сборныхъ каналовъ)},$$

$$5a)\ (H_0-y)^2 = (H_0-s)^2 + \frac{Q}{\pi x \varphi}\ \text{lg. nat. } \frac{x}{r}\ \text{(для обыкновенныхъ колодцовъ)},$$

$$8a)\ y = s - \frac{Q}{2\pi\varphi k a}\ \text{lg. nat. } \frac{x}{r}\ \text{(для артезіанскихъ колодцевъ)};$$

при чемъ величина y въ предѣлахъ между r и R всегда оказывается положительной.

б. Наклонный непроницаемый слой.

Если сдѣланныя нами при разсмотрѣніи приведенныхъ вопросовъ предположенія о горизонтальномъ направленіи не проницаемаго пласта и о параллельномъ ему уровнѣ воды не оправдываются, то обстоятельства нѣсколько измѣняются, преимущественно если новый уровень воды до расхода былъ параллеленъ наклонному непроницаемому слою, и если движеніе воды существовало уже до начала расхода. Если потокъ доставлялъ постоянно одинаковое количество воды V, то движеніе необходимо должно было быть равномѣрнымъ, что мы и предполагаемъ. Если уголъ наклона непроницаемаго слоя къ горизонту обозначимъ черезъ w, то образуемое имъ паденіе на единицу длины будетъ $\alpha=tgw$, и скорость u_0 равномѣрнаго движенія грунтоваго потока n_0 до расхода составляетъ $u_0=k.\ \text{lg}\ w=k\alpha$. Расходъ воды изъ потока будетъ возможенъ тогда, когда въ колодцѣ уровень воды пониженъ противъ начальнаго уровня, чѣмъ и вызывается притокъ воды.

Въ длинныхъ сборныхъ каналахъ, дренирующихъ потокъ по ширинѣ l, пониженіе уровня воды произведетъ дѣйствіе, которое будетъ изслѣдовано нами ниже (см. отд. IV, гл. 20) Называя пониженіе уровня воды черезъ s, постоянную высоту стоянія воды до расхода черезъ H_0 и высоту воды въ сборномъ каналѣ черезъ h, получаемъ зависимость

$$h=H_0-s,$$

и кривая пониженія будетъ выражаться приводимымъ ниже уравненіемъ (см. отд. I, гл. 20), въ которомъ принято $\text{lg}\ w=\alpha$.

[1]) Эта формула впервые предложена Дюпюи (см. отд. IV, гл. 5).

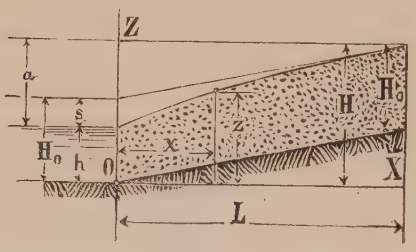
Упомянутое здѣсь уравненіе имѣетъ видъ:

$$x = z \operatorname{cotg} w - \frac{Q \operatorname{cotg}^2 w}{\varphi l k} - \left(h \operatorname{colg} w - \frac{Q \operatorname{colg}^2 w}{\varphi l k} \right) e^{-\frac{\varphi l k}{Q} tg\, w (z-h)}.$$

Съ новыми значеніями это уравненіе будетъ:

$$x = \frac{z}{\alpha} - \frac{Q}{\varphi l k \alpha^2} - \left(\frac{h}{\alpha} - \frac{Q}{\varphi l k \alpha^2} \right) e^{-\frac{\varphi l k \alpha}{Q}(z-h)}$$

и выражетъ собой уравненіе водяной поверхности при пониженіи уровня s.



Фиг. 131.

Послѣ наступленія состоянія неизмѣняемости количество притекающей къ каналу воды будетъ равно тому ея количеству, которое грунтовый потокъ доставлялъ до расхода на ширинѣ l, и когда уровень воды имѣлъ величину H_0. Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ имѣемъ

$$10)\quad Q = \varphi k l H_0 \alpha,$$

и послѣ подстановки въ послѣднее уравненіе получаемъ:

$$11)\quad x = \frac{z}{\alpha} + \frac{H_0 - h}{\alpha} . e^{-\frac{z-h}{H_0}} - \frac{H_0}{\alpha}.$$

Величина H_0 есть величина неизвѣстная, если не могла быть непосредственно измѣрена до начала расхода.

Если можно констатировать, что на разстояніи L уровень воды находится въ состояніи неизмѣняемости, и выше участка, образуемаго длиной L, уровень воды имѣетъ наклонъ, приблизительно параллельный непроницаемому слою, то приблизительно можно принять:

$$H_0 = a + h - L\alpha,$$

гдѣ a имѣетъ значеніе, показанное на фиг. 131. Величины a, h и L могутъ быть опредѣлены во всякое время дѣйствія канала.

Если въ подобный грунтовый потокъ опустить колодецъ, то при откачиваніи изъ него количества воды, меньшаго противъ доставляемаго потокомъ, только извѣстная ширина послѣдняго участвуетъ въ доставленіи воды. Если существовавшій до начала расхода и вездѣ одинаковый уровень воды надъ непроницаемымъ слоемъ, наклоненнымъ подъ угломъ w или имѣющимъ паденіе α на единицу длины, былъ H_0, то на каждый метръ ширины потокъ доставлялъ количество воды въ секунду

$$V = \varphi k H_0 \alpha,$$

и если изъ колодца расходовалось Q куб. метр. воды въ секунду, то отсюда опредѣляется ширина потока L

$$12)\quad L = \frac{Q}{\varphi k H_0 \alpha},$$

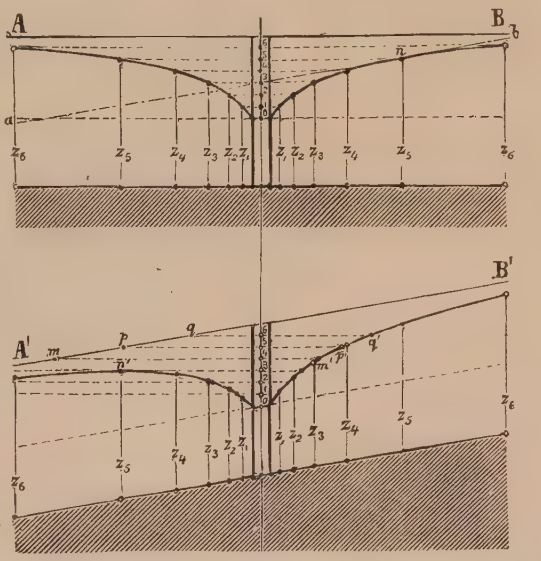
т. е. эта ширина потока независима отъ пониженія уровня въ колодцѣ и его діаметра.

Депрессіонная поверхность опущеннаго въ текущую грунтовую воду колодца получается изъ выраженной ур. 5) поверхности, въ которой принимаютъ, что абсолютныя величины ординатъ z_1, измѣряемыхъ отъ наклоннаго непроницаемаго слоя, вблизи колодца не измѣняются. При этомъ предполагается, что концентрическая съ колодцемъ цилиндрическая поверхность высотой z_1 съ горизонтальнымъ производящимъ кругомъ радіусомъ x_1 и параллельною оси колодца производящей, даже и при наклонномъ положеніи непроницаемаго слоя, будетъ доставлять воду къ колодцу по всей своей поверхности $2\pi x_1 z_1$ такимъ образомъ, что для элемента поверхности высотой $z_1 x_1 d\psi$, гдѣ подъ $x_1 d\psi$ подразумѣвается элементъ дуги производящаго круга, можно принять одинаковую скорость по всей высотѣ. Хотя это предположеніе не совсѣмъ точно, но оно вполнѣ отвѣчаетъ

требованіямъ практики при небольшомъ паденіи α и большомъ значеніи H_0 въ сравненіи съ пониженіемъ уровня въ колодцѣ.

Если построимъ вертикальное сѣченіе поверхности 5) плоскостью, проходящей черезъ ось колодца, то такъ какъ для поверхности 5) непроницаемый слой расположенъ горизонтально, на равныхъ высотахъ надъ уровнемъ воды въ колодцѣ горизонтальныя сѣченія кривой пониженія, получатся въ видѣ точекъ съ ординатами $z_1\ z_2\ z_3 \ldots z_6$. Одинаковое съ этимъ вертикальнымъ сѣченіемъ сѣченіе депрессіонной поверхности, получаемой при упомянутыхъ выше предположеніяхъ для наклоннаго непроницаемаго пласта, на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ оси колодца будетъ имѣть одинаковыя-же ординаты $z_1\ z_2\ z_3 \ldots z_6$, измѣряемыя отъ непроницаемаго слоя. Если провести подобные вертикальные разрѣзы подъ различными углами, то между всѣми получаемыми сѣченіями слѣдуетъ различать 2 характерныхъ: одно, которое пересѣкаетъ непроницаемый слой по горизонтальной линіи (AB фиг. 132), и другое ему перпендикулярное, изображенное линіей $A'B'$ на фиг. 132; въ этомъ послѣднемъ непроницаемый слой наклоненъ къ горизонту подъ угломъ w, т. е. имѣетъ уклонъ α на единицу длины

Для опредѣленія уравненія новой депрессіонной поверхности выберемъ прямоугольную систему координатъ изъ 3-хъ осей, причемъ ось z-овъ совпадаетъ съ осью колодца. Черезъ точку пересѣченія этой оси съ наклоннымъ непроницаемымъ слоемъ проведемъ горизонтальную плоскость XY; если затѣмъ горизонтальную линію пересѣченія этой плоскости съ непроницаемымъ слоемъ примемъ за ось Y-овъ, то ось X-овъ будетъ направлена параллельно направленію теченія. Направленіе новой системы координатъ показано на фиг. 133.



Фиг. 132.

Если напишемъ прежнее интегральное уравненіе 5), для удобнаго ея отличія, съ другими обозначеніями перемѣнныхъ, то получимъ:

$$5)\quad z_1^2 = \frac{Q}{\pi k \varphi} \text{ lg. nat. } x_1 + C.$$

Всякая точка M новой депрессіонной поверхности, отнесенная къ новой системѣ координатъ (x, y, z) согласно нашего основнаго предположенія, получается изъ этого уравненія, если цилиндръ съ радіусомъ образующаго круга x_1 сохранитъ высоту z_1 надъ наклоннымъ подъ α непроницаемымъ слоемъ. Условія для этого будутъ слѣдующія:

$$x_1^2 = x^2 + y^2$$
$$z = z_1 + x\alpha.$$

Отсюда уравненіе новой депрессіонной поверхности принимаетъ видъ:

$$13)\quad (z - x\alpha)^2 = \frac{Q}{\pi \varphi k} \text{ lg. nat. } \sqrt{x^2+y^2} + C.$$

Значеніе постоянной C опредѣляется изъ того соображенія, что крайняя наружная цилиндрическая поверхность, черезъ которую еще протекаетъ вода, можетъ имѣть только высоту H_0; если представимъ себѣ депрессіонную поверхность, продолженной дальше, то она переходитъ въ пустое пространство. Если черезъ R обозначимъ разстояніе, на которомъ опредѣляемая изъ ур. 5) величина $z_1 = z - R\alpha$ дѣлается равной H_0, то получаемъ условіе для опредѣленія значенія C:

$$H_0^2 = \frac{Q}{\pi \varphi k} \text{ lg. nat. } R + C.$$

Отсюда, послѣ подстановки получаемъ

$$(z - x\alpha)^2 = H_0^2 - \frac{Q}{\pi \varphi k} \text{ lg. nat. } \frac{R}{\sqrt{x^2+y^2}}.$$

Горизонтальная плоскость

$$z = C,$$

проведенная на высотѣ C надъ началомъ координатъ, пересѣкаетъ депрессіонную поверхность по горизонтальной кривой, уравненіе которой будетъ

$$14)\quad (C - x\alpha)^2 = H_0^2 - \frac{Q}{\pi\varphi k}\ \text{lg. nat.}\ \frac{R}{\sqrt{x^2+y^2}}.$$

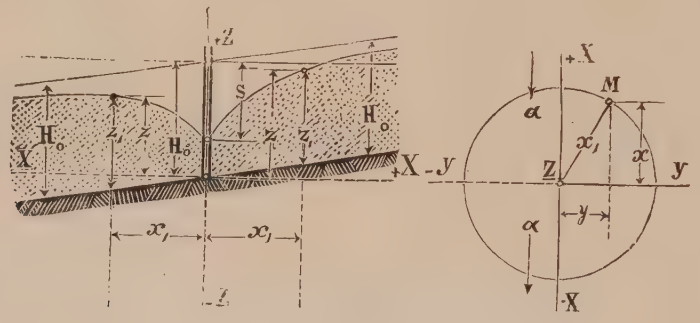
Вертикальное сѣченіе этой поверхности плоскостью, проходящей черезъ ось X-овъ, при $y = 0$, даетъ кривую пониженія

$$15)\quad (z - x\alpha)^2 = H_0^2 - \frac{Q}{\pi\varphi k}\ \text{lg. nat.}\ \frac{R}{x},$$

а пересѣченіе плоскостью, проходящей черезъ ось Y-овъ при $x = 0$ даетъ кривую пониженія въ плоскости $Y\,Z$:

$$16)\quad z^2 = H_0^2 - \frac{Q}{\pi\varphi k}\ \text{lg. nat.}\ \frac{R}{y}.$$

Уравненіе 16) точно соотвѣтствуетъ вертикальному сѣченію поверхности 5) и изображено сверху на фиг. 132.



Фиг. 133.

Нижняя часть фиг. 132 соотвѣтствуетъ ур. 15); въ точкѣ n' этой кривой касательная направлена горизонтально. Координаты точки n' получаются изъ ур. 15), если взять первую производную величины z по x и приравнять ее нулю. При этомъ сперва получаемъ:

$$17)\quad \frac{dz}{dx} = \alpha + \frac{Q}{2\pi k\varphi x(z - x\alpha)};$$

дѣлая затѣмъ $\frac{dz}{dx} = 0$, получаемъ координату x точки n':

$$17a)\quad x_0 = \frac{Q}{2\pi\varphi k\alpha\sqrt{H_0^2 - \frac{Q}{\pi\varphi k}\ \text{lg. nat.}\ \frac{R}{x}}}.$$

Численное значеніе x_0 должно быть опредѣлено пробными вычисленіями.

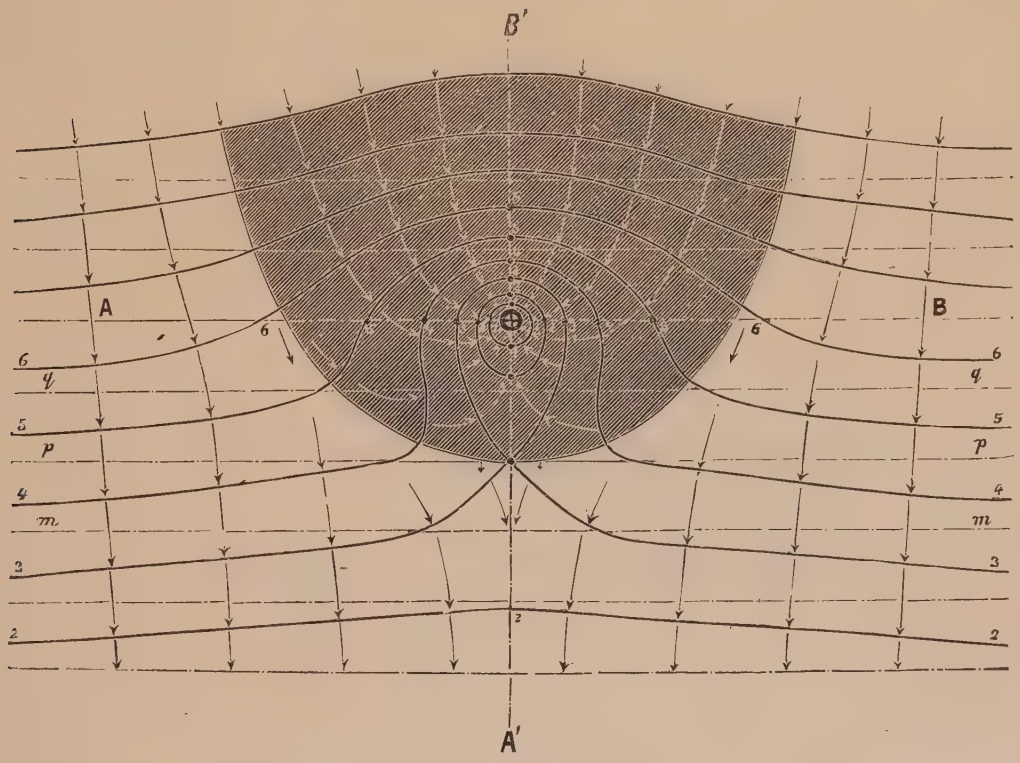
Въ томъ мѣстѣ расположенной по отрицательной сторонѣ оси X-овъ вѣтви кривой, гдѣ, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ и при горизонтальномъ непроницаемомъ слоѣ, касательная имѣетъ наклонъ α, въ данномъ случаѣ она направлена горизонтально. Это соотношеніе показано на фиг. 132 соотвѣтствующими точками касанія n и n' (ординатой z_5). Изъ тѣхъ мѣстъ, которыя расположены ниже точки n' никакого притока къ колодцу происходить не можетъ.

Рядъ высотныхъ кривыхъ, или горизонталей отмѣтокъ, выражаемыхъ ур. 14), изображенъ на фиг. 134. Горизонтальныя сѣченія проведены черезъ точки 1, 2, 3 . . . 6 оси колодца (фиг. 132). Точки m, p, q, изображающія собой (на фиг. 132) точки пересѣченія этихъ горизонтальныхъ плоскостей съ линіей горизонта грунтоваго потока $A'\,B'$, существовавшаго въ колодцѣ до начала расхода, на фиг. 134 даютъ ассимптоты высотныхъ кривыхъ. $A'\,B'$ соотвѣтствуетъ плоскости $X\,Z$, а линія $A\,B$ — плоскости $Y\,X$, т. е., соотвѣтственно обозначеннымъ на ф. 134 двумъ разрѣзамъ.

Точки касанія ассимптотъ съ кривыми, по самому понятію объ ассимптотахъ, должны находиться въ безконечности; но такъ какъ согласно нашему предположенію, которое впрочемъ оказывается справедливымъ въ ограниченныхъ только предѣлахъ, депрессіонная поверхность прекращается при $x_1 = \sqrt{x^2 + y^2} = R$, то ассимптоты на этомъ разстояніи переходятъ въ плоскость уровня потока, находящуюся внѣ сферы вліянія колодца. При $x^2 + y^2 = R^2$ изъ ур. 14 получаемъ:

$$C - x\alpha = H_0 \text{ и } x = \frac{C - H_0}{\alpha};$$

послѣдняя величина выражаетъ собой абсциссу основанія перпендикуляра опущеннаго изъ какой-либо ассимптоты, согласно показанному на ф. 132 построенію.



Фиг. 134.

Что-же касается скорости притока, развиваемой на окружности колодца, то она опредѣляется изъ ур. 17). Если ширина колодца составляетъ r, и уровень въ немъ воды $h_0 = H_0 - s$, то въ ур. 17) $x = r$ и $z - x\alpha = z - r\alpha = h_0$, Величиной $r\alpha$, какъ весьма малой въ сравненіи съ h_0, можно пренебречь, и тогда скорость въ вертикальномъ сѣченіи плоскости XZ будетъ:

$$k\frac{dz}{dx} = k\alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi r h_0} = v.$$

Точно также въ верхней точкѣ горизонтальнаго сѣченія черезъ колодецъ получится скорость

$$18)\quad v_1 = k\alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi r h_0},$$

а на нижней точкѣ, при отрицательномъ значеніи r и отрицательной $\frac{dz}{dx}$, скорость будетъ.

$$19)\quad v_2 = -k\alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi r h_0}.$$

Отсюда видно, что вода больше не притекаетъ къ колодцу равномѣрно по всей его окружности, какъ это имѣетъ мѣсто при горизонтально расположенномъ непроницаемомъ слоѣ, при которомъ скорость притока остается постоянной и составляетъ:

$$u_0 = \frac{Q}{2\pi\varphi r h_0}.$$

При наклонномъ непроницаемомъ слоѣ, для верхней точки колодезнаго цилиндра къ послѣдней скорости прибавляется естественная скорость, соотвѣтствующая наклону непроницаемаго слоя, а для нижней точки колодца это скорость вычитывается изъ скорости, соотвѣтствующей горизонтально расположенному нппроницаемому слою.

Изъ опредѣляемой ур. 17 а) точки n' (фиг. 132) выходитъ линія теченія, которая раздѣляетъ служащій для колодца грунтовый потокъ отъ потока, протекающаго мимо колодца. Идущая на питаніе колодца часть потока изображена на ф. 134 заштрихованной плоскостью.

Если пониженіе уровня воды въ колодцѣ, вызываемое расходомъ, обозначимъ, какъ и прежде, черезъ s, то величина $H_0 - s$ представитъ собой значеніе величины $z - x\alpha$, получаемой изъ ур. 13) при $x = 0$ и $y = r$. Подставивъ въ ур. 13) $x = 0$ и $y = r$, получаемъ:

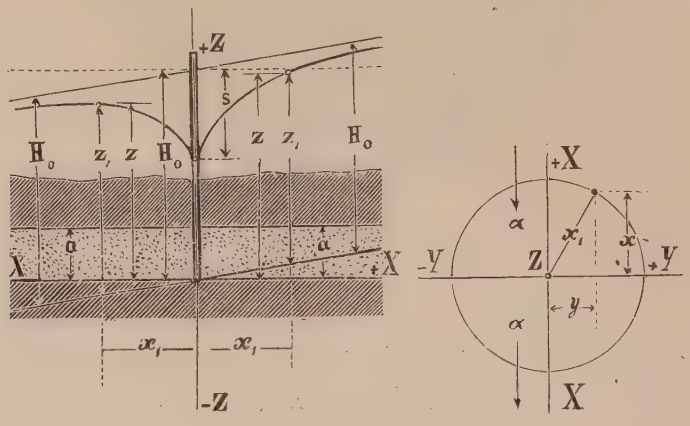
$$(H_0 - s)^2 = \frac{Q}{\pi \varphi k} \text{ lg. nat. } r + C,$$

и такъ какъ (см. выше) $H_0^2 = \frac{Q}{\pi \varphi k}$ lg. nat. $R + C$, то получаемъ уравненіе

$$20) \quad Q = \pi \varphi k \frac{H_0^2 - (H_0 - s)^2}{\text{lg. nat. } \frac{R}{r}},$$

которое совершенно одинаково съ ур. 6).

Такимъ образомъ въ случаѣ справедливости сдѣланныхъ нами упрощающихъ предположеній, наклоненіе водонепроницаемаго слоя не имѣетъ вліянія на производительность колодца.



Фиг. 135.

Тѣ же соображенія справедливы и для артезіанскихъ колодцевъ. Если давленіе въ артезіанскомъ бассейнѣ (при мощности проницаемаго слоя a) не постоянно, какъ мы прежде это принимали, то по направленію уменьшенія давленія развивается артезіанскій потокъ. Для передвиженія полнаго количества воды V при постоянномъ поперечномъ сѣченіи требуется извѣстный избытокъ высоты напора α на каждый метръ длины, который мы называемъ относительнымъ паденіемъ или паденіемъ на единицу длины. Смыслъ нашихъ предположеній выясняется изъ фиг. 135.

Мы опять приходимъ къ соотношеніямъ:

$$x_1^2 = x^2 + y^2, \quad z = z_1 + \alpha x,$$

гдѣ новыя координаты x, y, z отнесены къ прямоугольной системѣ координатъ съ 3-мя осями, въ которой горизонтальная плоскость XY проходитъ черезъ точку пересѣченія оси колодца съ нижней поверхностью непроницаемаго слоя, а ось Z-овъ совпадаетъ съ осью колодца.

Аналогично вышеприведенному (ур. 8) принимаетъ видъ:

$$21) \quad z - \alpha x = \frac{Q}{2\pi \varphi k \alpha} \text{ lg. nat. } \sqrt{x^2 + y^2} + C;$$

если на разстояніи R значеніе z_1 дѣлается равнымъ $z - \alpha x = H_0$, то постоянная C опредѣляется изъ ур.

$$H_0 = \frac{Q}{2\pi \varphi k \alpha} \text{ lg. nat. } R + C.$$

Такимъ образомъ получается уравненіе новой депрессіонной поверхности.

Вертикальное сѣченіе плоскостью, проходящей черезъ ось Y-овъ, при $x = 0$ даетъ линію пересѣченія

$$22) \quad z = H_0 - \frac{Q}{2\pi\varphi k a} \text{ lg. nat. } \frac{R}{y},$$

а вертикальное сѣченіе плоскостью, проходящей черезъ ось X-овъ, при $y = 0$, даетъ

$$23) \quad z - \alpha x = H_0 - \frac{Q}{2\pi\varphi k a} \text{ lg. nat. } \frac{R}{x}.$$

Дифференцируя ур. 23) по x, получаемъ

$$24) \quad \frac{dz}{dx} = \alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi k a x},$$

а принимая $\frac{dz}{dx} = 0$, получаемъ абсциссу точки n', въ которой касательная направлена горизонтально, т. е. при которой движеніе къ колодцу прекращается:

$$25) \quad x_0 = -\frac{Q}{2\pi\varphi k a \alpha}.$$

Скорость воды по направленію къ колодцу въ верхней точкѣ горизонтальнаго разрѣза колодезнаго цилиндра изъ ур. 24) опредѣляется по формулѣ $v = k\frac{dz}{dx}$, и мы получаемъ

$$26) \quad v_1 = k\alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi a r};$$

въ нижней точкѣ для отрицательнаго r и отрицательнаго значенія $\frac{dz}{dx}$ получаемъ

$$27) \quad v_2 = -k\alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi a r}.$$

Очевидно, что здѣсь получаются результаты, совершенно одинаковые съ полученными нами раньше для притока къ обыкновенному колодцу.

Пересѣкая депрессіонную поверхность 21) горизонтальными плоскостями $z = C$, получаемъ линіи пересѣченія, соотвѣтствующія уравненію:

$$28) \quad x = \frac{C - H_0}{\alpha} + \frac{Q}{2\pi\varphi k a \alpha} \text{ lg. nat. } \frac{R}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

и показывающія такой же ходъ явленія, какъ и линіи, выражаемыя ур. 14) и изображенныя на фиг. 134.

Что же касается соотношенія величины s пониженія уровня къ заимствуемому количеству воды, то при $x = 0$, $y = r$ и $z - \alpha x = H_0 - s$ ур. 21) даетъ:

$$H_0 - s = \frac{Q}{2\pi\varphi k a} \text{ lg. nat. } r + C,$$

а при значеніи постоянной C изъ уравненія

$$H_0 = \frac{Q}{2\pi\varphi k a} \text{ lg. nat. } R + C$$

получаемъ уравненіе

$$29) \quad Q = \frac{2\pi\varphi k a}{\text{lg. nat. } \frac{R}{r}} \cdot s,$$

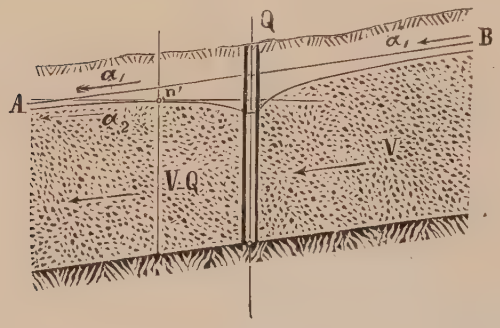
которое совершенно одинаково съ ур. 9),

Что касается дѣйствія короткихъ сборныхъ каналовъ, которые получаютъ воду и у концовъ своихъ, то практика показала, что доставляемое подобнымъ сооруженіемъ количество воды при длинѣ канала l, равно количеству воды, доставляемой колодцемъ съ радіусомъ r, равнымъ половинѣ длины канала, плюсъ количество воды, доставляемой грунтовымъ потокомъ на ширинѣ $l - 2r$ и опредѣляемой формулой 2). Теоретическими изслѣдованіями Форхгеймеръ [1]) нашелъ, что производительность подобнаго сооруженія эквивалентно производительности колодца съ діаметромъ, равнымъ $\frac{l}{2}$.

---

[1]) Forchheimer, Ph. Ueber die Ergiebigkeit von Brunnenanlagen und Sickerschlitzen. Hannover. 1896.

c) Общій случай. Какъ при обыкновенномъ, такъ и при артезіанскомъ грунтовомъ потокѣ расходъ воды путемъ колодца или сборнаго канала отражается на водоносность потока тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше количество заимствуемой воды въ сравненіи со всѣмъ количествомъ ея, проходящимъ черезъ потокъ. Если въ единицу времени отъ потока заимствуемъ больше воды, нежели онъ можетъ доставить въ ту же единицу времени, то состояніе неизмѣняемости не наступаетъ; уровень воды въ колодцѣ или сборномъ каналѣ постепенно понижается, и когда, наконецъ, всѣ скопленные въ подпочвенномъ резервуарѣ запасы исчерпаны, колодецъ продолжаетъ доставлять въ единицу времени только такое количество воды V, которое постоянно притекаетъ къ грунтовому потоку въ единицу времени.



Фиг. 136.

Если замѣтимъ продольную профиль уровня грунтовыхъ водъ, проходящую черезъ ось колодца или поперекъ сборнаго канала, т. е. будемъ знать имѣющіяся въ распоряженіи высоты напора артезіанскаго потока, то получается вполнѣ ясная картина упомянутаго явленія, если намъ извѣстны условія, существовавшія до начала расхода воды. Такъ, напр., если относительное паденіе потока на нѣкоторомъ разстояніи ниже мѣста расхода было α_1 (фиг. 136) и при наступленіи неизмѣняемости расхода Q оно измѣнилось въ α_2, то при измѣреніи α_1 и α_2 въ такомъ мѣстѣ, въ которомъ поперечное сѣченіе для прохода воды измѣняется весьма мало, между этими величинами будетъ существовать зависимость:

$$\frac{V}{V-Q}=\frac{\alpha_1}{\alpha_2},$$

откуда общее количество, доставляемой потокомъ воды будетъ:

$$30) \qquad V=\frac{Q\,\alpha_1}{\alpha_1-\alpha_2}.$$

Если $\alpha_1=\alpha_2$, то получимъ $V=\infty$, т. е. если паденіе весьма мало измѣнилось въ сравненіи съ существовавшимъ раньше, то заимствуемое изъ колодца или сборнаго канала количество воды Q будетъ весьма мало въ сравненіи съ общимъ количествомъ воды V, даваемой потокомъ. Если $\alpha_2=0$, то мы заключаемъ, что изъ колодца заимствуется столько воды, сколько ея доставляется подпочвеннымъ потокомъ. Если наклонъ уровня грунтовыхъ водъ послѣ расхода на весьма значительномъ протяженіи направленъ къ колодцу, не образуя вершины при n', то такъ какъ величина α_2 можетъ быть отрицательной, величина $V<Q$, т. е. здѣсь будетъ происходить медленное опоражниваніе грунтоваго резервуара. Для приблизительной правильности этихъ заключеній слѣдуетъ предполагать, что точка n' (фиг. 136) лежитъ выше измѣряемаго мѣста, т. е. что послѣднее расположено по возможности далеко ниже мѣста расхода воды (около 400—500 метр.).

Для избѣжанія ошибокъ въ этомъ направленіи считаемъ нужнымъ прибавить, что постепенное пониженіе уровня воды въ снабжающемъ потокѣ или отсутствіе состоянія неизмѣняемости при постоянномъ расходѣ не всегда служитъ

указаніемъ на недостаточность количества доставляемой потокомъ воды. Это явленіе можетъ произойти и тогда, когда при откачкѣ воды изъ подошвы водоноснаго слоя въ колодецъ постоянно поступаетъ песокъ, затрудняющій доступъ или подъемъ воды и уменьшающій проницаемое поперечное сѣченіе. Но въ этомъ случаѣ рѣшеніе вопроса о причинѣ пониженія уровня не затруднительно: для этого достаточно только прекратить расходъ на короткое время. Если пониженіе уровня происходило отъ скопленія песку, то по прекращеніи расхода уровень воды тотчасъ же опять приметъ положеніе, одинаковое съ существовавшимъ до расхода; если же, наоборотъ, пониженіе уровня произошло оттого, что расходъ воды больше количества доставляемой потокомъ, то уровень не тотчасъ же, а только весьма медленно будетъ подыматься до прежняго своего положенія, такъ какъ при прекращеніи расхода раньше всего должны быть пополнены израсходованные запасы грунтоваго резервуара.

Разсмотримъ, наконецъ, вліяніе, оказываемое инфильтраціями въ водоносный слой во время расхода воды на производительность или соотвѣтственно на уровень воды въ сборномъ каналѣ или колодцѣ.

а. Сборный каналъ. Допустимъ, что въ почвѣ, подъ которой грунтовый потокъ протекаетъ по направленію къ сборному каналу, въ теченіе всего разсматриваемаго нами періода времени остается отъ инфильтраціи количество воды m_1 на 1 кв. метр. поверхности въ секунду; кромѣ того, къ разсматриваемому нами наружному концу потока черезъ него проходитъ количество воды q въ секунду на каждый метръ ширины, соотвѣтственно его высотѣ и паденію.

Если непроницаемый слой расположенъ горизонтально, то на разстояніи x, при ширинѣ сборнаго канала l, черезъ профиль $F = \varphi\, l\, z_0$ будетъ проходить количество воды

$$Q = ql + m_1 l\,(L - x).$$

Въ точкѣ $(x,\ z_0)$ будетъ

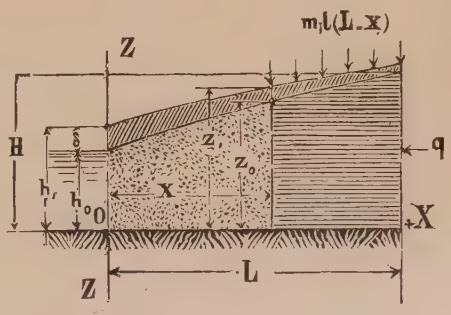
$$k\,\frac{dz_0}{dx} = \frac{Q}{F} = \frac{q + m_1\,(L-x)}{\varphi\, z_0},$$

откуда

$$z_0^2 = \frac{2\,x}{k\,\varphi}\,(q + m_1\,L) - \frac{m_1\,x^2}{k\,\varphi} + C;$$

но такъ какъ при $x = 0$, значеніе $z_0 = h_0$, то получимъ

$$31)\quad z_0^2 = h_0^2 + \frac{2\,x}{k\,\varphi}\,(q + m_1\,L) - \frac{m_1\,x^2}{k\,\varphi}.$$



Фиг. 137.

Наконецъ, количество воды, притекающей къ сборному каналу при постоянномъ пониженіи уровня $H - h_0$, будетъ

$$32)\quad Q_0 = ql + m_1\,l\,L.$$

Если мы теперь поставимъ вопросъ о томъ, на какую величину подымется уровень воды, когда изъ канала и во время инфильтраціи будетъ заимствоваться количество воды только q въ секунду, то соотвѣтственно ур. 2), если h_0 означаетъ глубину воды въ каналѣ до инфильтраціи, h_1 — глубину воды въ каналѣ послѣ инфильтраціи, а z_0 и z_1 — ординаты соотвѣтственныхъ уровней, для состоянія неизмѣняемости имѣемъ

$$z_0^2 = h_0^2 + \frac{2qx}{\varphi lk}, \qquad z_1^2 = h_1^2 + \frac{2qx}{\varphi lk};$$

такъ какъ въ этомъ случаѣ между 0 и x должно скопляться количество воды $m_1\,l\,(L-x)$, а заключенная между ординатами z_0 и z_1 уровня воды площадь должна быть $= \frac{m_1}{\varphi}\,(L-x)\,t$, гдѣ t означаетъ продолжительность инфильтраціи, то получаемъ условіе:

$$\int z_1\,dx - \int z_0\,dx = \frac{m_1}{\varphi}\,(L-x)\,t.$$

Интегрированіе даетъ намъ

$$\frac{\varphi l k}{3 q}\left[\sqrt{\left(h_1^2+\frac{2 q x}{\varphi l k}\right)^3}-\sqrt{\left(h_0^2+\frac{2 q x}{\varphi l k}\right)^3}\right]=\frac{t m_1}{\varphi}(L-x)+C,$$

гдѣ постоянная C, опредѣляемая при $x=0$, составляетъ:

$$C=\frac{\varphi l k}{3 q}(h_1^3-h_0^3)-\frac{t m_1 L}{\varphi};$$

такимъ образомъ получаемъ

$$\frac{\varphi l k}{3 q}\left[h_1^3-h_0^3-z_1^3+z_0^3\right]=\frac{m_1 t x}{\varphi}.$$

Въ концѣ разсматриваемаго протяженія инфильтраціи получаемъ $x=L$; опредѣляя отсюда значенія z_0^3 и z_1^3, получаемъ

$$h_1^3-h_0^3-\sqrt{\left(h_1^2+\frac{2 q L}{\varphi l k}\right)^3}+\sqrt{\left(h_0^2+\frac{2 q L}{\varphi l k}\right)^3}=\frac{3 m_1 q L t}{\varphi^2 l k},$$

откуда простыми пробными вычисленіями опредѣляемъ значеніе h_1. Первое значеніе h_1, опредѣляемое путемъ интерполяціи $z_1=z_0=H_0$, будетъ:

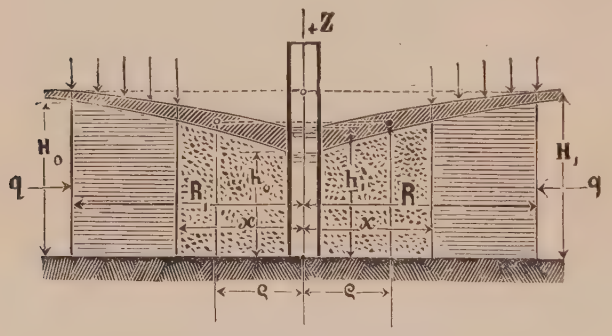
$$h_1=\sqrt[3]{h_0^3+\frac{3 m_1 q L t}{\varphi^2 l k}}.$$

Опредѣливши значеніе h_1, вычисляютъ повышеніе уровня [1]) δ:

$$33)\quad \delta=h_1-h_0.$$

Это повышеніе уровня послѣ выпавшихъ осадковъ происходитъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ меньше глубина горизонта грунтовыхъ водъ подъ землей, и обратно. Оно, какъ видно, тѣмъ больше чѣмъ больше величина m_1, и соотвѣтственно чѣмъ больше q, чѣмъ обширнѣе область осадковъ и чѣмъ больше продолжительность инфильтраціи, причемъ оно колеблется между $\frac{m_1 t}{\varphi}$, $(q=0)$ и $\frac{2 m_1}{\varphi} t$, $(L=\infty)$.

b. Колодцы. Если черезъ цилиндрическую поверхность, ось которой совпадаетъ съ осью колодца, и радіусъ образующаго круга которой назовемъ черезъ L, протекаетъ количество воды q, и если кромѣ того въ предѣлахъ образующаго круга происходитъ инфильтрація въ количествѣ m_1 въ секунду на 1 кв. метр. горизонтальной проекціи, то на разстояніи x отъ оси колодца черезъ поперечное сѣченіе



Фиг. 138.

$$F=2\pi\varphi x z$$

проходитъ количество воды

$$Q=q+m_1\pi(L^2-x^2),$$

откуда скорость теченія будетъ

$$k\frac{d z}{d x}=\frac{q+m_1\pi(L^2-x^2)}{2\pi\varphi x z}.$$

Интегрированіе этого уравненія въ соотвѣтственныхъ предѣлахъ $x=r$ и $z=h$ даетъ намъ

$$34)\quad z^2=h^2-\frac{m_1}{2 k\varphi}(L^2-r^2)+\frac{q+m_1\pi L^2}{\pi k\varphi}\,lg.\ nat.\ \frac{x}{r}.$$

Наконецъ, при постоянномъ пониженіи уровня количество притекающей къ колодцу воды, которая можетъ быть изъ него заимствована, будетъ

$$35)\quad Q_2=q+m_1\pi(L^2-r^2).$$

Повышеніе уровня воды $h_1-h_0=\delta$, производимое одной только инфильтраціей, при постоянномъ расходѣ q опредѣляется точно такъ же, какъ и прежде. Однако, для упрощенія вычисленій укажемъ здѣсь приблизительный способъ измѣренія тѣла, заключающагося между двумя депрессіонными поверхностями и воспринимающаго въ себя инфильтрацію $m_1\pi(L^2-r^2)t$.

[1]) Предполагается, что время вполнѣ достаточно для образованія состоянія неизмѣняемости $f(x z_1)$.

Если δ представляетъ собой повышеніе уровня воды въ колодцѣ, то площадь, отъ вращенія которой вокругъ оси колодца образуется тѣло вращенія, воспринимающее въ себя воду, согласно фиг. 138, приблизительно опредѣляется формулой:

$$F = \frac{\varphi L}{2} (H_1 - H_0 + h_1 - h_0) = \frac{\varphi L}{2} H_1 - H_0 + \delta) .$$

Разстояніе центра тяжести этой плоскости отъ оси колодца приблизительно составляетъ:

$$\rho = r + \frac{L}{3} \cdot \frac{\delta + 2 (H_1 - H_0)}{\delta + H_1 - H_0} .$$

Отсюда объемъ тѣла вращенія будетъ:

$$J = 2 \pi \rho F = \frac{\pi \varphi L}{3} \left[3 r (\delta + H_1 - H_0) + L (\delta + 2 H_1 - 2 H_0) \right] .$$

Изъ ур. 5) слѣдуетъ:

$$H_1 - H_0 = \sqrt{(h_0 + \delta)^2 + \frac{q}{\pi \varphi k} lg. nat. \frac{L}{r}} - \sqrt{h_0^2 + \frac{q}{\pi \varphi k} lg. nat. \frac{L}{r}} ;$$

подставляя это значеніе въ предыдущее уравненіе, получаемъ δ въ видѣ функціи извѣстныхъ величинъ, если только принять

$$2 \pi \rho F = m_1 \pi (R^2 - r^2) t .$$

Обозначивъ постоянную величину $\frac{q}{\pi \varphi k} lg. nat. \frac{L}{r}$ черезъ c, получимъ

$$36) \quad 3 r \left(\delta + \sqrt{(h_0 + \delta)^2 + c} - \sqrt{h_0^2 + c} \right) + L \left(\delta + 2 \sqrt{(h_0 + \delta)^2 + c} - 2 \sqrt{h_0^2 + c} \right) = \frac{3 m_1 (L^2 - r^2) t}{\varphi L}$$

Отсюда δ легче всего опредѣляется послѣдовательными приближеніями. Первое приближенное значеніе получается при $H_1 = H_0$:

$$\delta = \frac{3 m_1 (L^2 - r^2) t}{\varphi L (L + 3 r)} .$$

При значительномъ удаленіи L высота δ колеблется между $\frac{m_1 t}{\varphi} (q = o)$ и $\frac{3 m_1 t}{\varphi} (L = \infty)$.

При этомъ мы пренебрегли количествами воды, потребными для повышенія уровня воды на величину δ въ самомъ колодцѣ или сборномъ каналѣ.

Поднятіе депрессіонной поверхности распространяется на всю область инфильтраціи; но, какъ показываютъ наши вычисленія, въ мѣстѣ расхода оно большей частью гораздо значительнѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда количество инфильтрованной воды было бы равномѣрно распредѣлено по всей области инфильтраціи. Такимъ образомъ по повышенію уровня воды въ дѣйствующемъ сборномъ каналѣ или колодцѣ нельзя заключать о величинѣ инфильтраціи. Когда инфильтрація прекращается, то, при нормальномъ расходѣ, уровень воды постепенно понижается до того нормальнаго уровня, который соотвѣтствуетъ этому расходу.

Подобныя пониженія уровня, происходящія отъ внѣшнихъ вліяній, должны быть строго отличаемы отъ тѣхъ, которыя обусловливаются исключительно только измѣненіемъ расхода; въ противномъ случаѣ получаемыя противорѣчія съ вышеприведенными формулами бываютъ трудно объяснимы и могутъ повести къ ошибочному опредѣленію требуемыхъ здѣсь коэффиціентовъ пропорціональности. Принятіе въ соображеніе этихъ условій преимущественно весьма важно при колодцахъ небольшого діаметра и въ тѣхъ случаяхъ, когда инфильтрація должна проходить очень длинный путь отъ поверхности почвы до горизонта грунтовыхъ водъ, и когда такимъ образомъ вліяніе дождей обнаруживается только черезъ продолжительное время послѣ ихъ прекращенія. Въ послѣднемъ случаѣ оказывается возможнымъ явленіе, что при наступленіи новаго періода дождей уровень воды находится еще въ періодѣ своего пониженія, а при наступленіи затѣмъ періода засухи уровень воды, вслѣдствіе вторичной инфильтраціи, продолжаетъ повышаться. Наиболѣе надежныя

исходныя точки для опредѣленія этихъ, иногда весьма сложныхъ, внѣшнихъ вліяній могутъ быть получены путемъ наблюденій надъ устроенными въ той же инфильтраціонной области колодцами, не служащими для расхода и не подверженными вліянію мѣстъ расхода.

Что касается времени, по истеченіи котораго наступаетъ предположенное нами при предыдущихъ разсужденіяхъ состояніе равномѣрности или неизмѣняемости движенія воды къ колодцамъ или сборнымъ каналамъ, то строго теоретически оно всегда безконечно велико, если допустимъ, что движеніе прекращается только при безконечно малой скорости. Въ дѣйствительности же для преодолѣнія прилипанія воды къ песчинкамъ и проч. требуется нѣкоторая конечная скорость, какъ мы это укажемъ ниже; если скорость бываетъ ниже этого предѣла, то движеніе становится постояннымъ.

Въ практикѣ движеніе грунтовыхъ водъ не простирается до безконечности, и можно доказать, что на извѣстныхъ разстояніяхъ отъ мѣстъ расхода измѣненіе количества заимствуемой воды въ нѣкоторыхъ тѣсныхъ предѣлахъ больше не отражается на потокѣ; вычисливши время, необходимое частицѣ воды, находящейся на такомъ разстояніи, для поступленія въ колодецъ или сборный каналъ, получаемъ приблизительно наименьшее время, потребное для установленія этого состоянія равновѣсія.

Время, потребное для притока къ сборнымъ каналамъ надъ горизонтальнымъ непроницаемымъ слоемъ, было опредѣлено нами выше (см. отд. I, гл. 7) Отнесенная къ обозначеніямъ, показаннымъ на фиг. 128, найденная нами формула 7) даетъ намъ потребное время движенія въ секундахъ:

$$37) \qquad t = \frac{k\varphi^2 l^2}{3Q^2}(H^3 - h^3) = \frac{4L^2}{3k} \cdot \frac{H^3 - h^3}{(H^2 - h^2)^2} \cdot$$

Скорость притока къ колодцу, расположенному надъ горизонтальнымъ непроницаемымъ слоемъ, опредѣляется по ур. 4):

$$u = \frac{Q}{2\pi\varphi x z} = \frac{dx}{dt} \cdot$$

При относительно большой глубинѣ воды въ колодцѣ, какъ это имѣетъ мѣсто и при артезіанскихъ колодцахъ, z можетъ считаться приблизительно постоянной величиной. Предполагая $z = H_0$ и принимая во вниманіе, что $t = o$ и $x = r$ представляютъ собой взаимно соотвѣтственныя значенія этихъ величинъ, получаемъ приблизительно время, протекающее до прохода водой разстоянія $x - r$:

$$38) \qquad t = \frac{\pi\varphi H_0}{Q}(x^2 - r^2) = \frac{H(x^2 - r^2)\ lg.nat\ \frac{x}{r}}{k\,[H_0^2 - (H_0 - s)^2]} \cdot$$

причемъ послѣднее выраженіе получено помощью ур. 6).

При наклонномъ непроницаемомъ слоѣ съ относительнымъ паденіемъ α и если черезъ $H_0 = H - L\alpha$ обозначимъ постоянную высоту уровня воды надъ этимъ слоемъ, а черезъ h—высоту уровня воды въ сборномъ каналѣ (ср. фиг. 131), получимъ среднюю скорость приблизительно

$$u = \frac{Q}{\varphi l (H_0 + h)} ,$$

откуда время, потребное для прохода водой разстоянія L, будетъ:

$$39) \qquad t = \frac{L}{u} = \frac{L\varphi l(H_0 + h)}{2Q} = \frac{L}{k\psi} ,$$

гдѣ среднее значеніе $\psi = \frac{2Q}{k\varphi l(H_0 + h)}$.

Для колодца съ наклоннымъ непроницаемымъ слоемъ при значительной глубинѣ воды H_0, т. е. при допускаемомъ приблизительномъ значеніи $z = H_0 + \alpha x$, и принимая во вниманіе, что въ данномъ случаѣ достаточно прослѣдить теченіе по направленію главной оси $X\,X$, по формулѣ 17) получимъ

$$u = k\alpha + \frac{Q}{2\pi\varphi x H_0} = \frac{dx}{dt} \cdot$$

Такъ какъ значенія $t = 0$ и $x = r$ представляютъ собой соотвѣтственныя значенія перемѣнныхъ въ этомъ уравненіи, то путемъ интегрированія получимъ:

$$40) \qquad t = \frac{x - r}{k\alpha} - \frac{Q}{2\pi\varphi H k^2 \alpha^2} \, lg.\ nat. \frac{2\pi\varphi H k \alpha x + Q}{2\pi\varphi H k \alpha r + Q}.$$

Для опредѣленія періода времени, протекающаго до установленія состоянія неизмѣняемости, въ ур. 38) и соотвѣтственно 40) слѣдуетъ подставить $x = R$. Значенія L и R, какъ мы неоднократно указывали, могутъ считаться приблизительно постоянными только при незначительныхъ колебаніяхъ расхода; при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ и при возростающемъ Q они бываютъ больше. Для ихъ опредѣленія необходимо прибѣгнуть къ непосредственнымъ наблюденіямъ. Тимъ нашелъ, что въ крупнозернистой проницаемой почвѣ, при пониженіи уровня на 6 метр., на разстояніи 700 метр. отъ оси колодца расходъ воды въ 200 литр. въ секунду не вызывалъ никакихъ практически замѣтныхъ колебаній уровня грунтовыхъ водъ. Фосса-Манчини даетъ слѣдующую формулу для опредѣленія значенія R для колодцевъ надъ наклонными непроницаемыми слоями,

$$41) \qquad R = \frac{2,72\, r}{\frac{c}{2,72\, r} + 2 - \sqrt{\left(\frac{c}{2,72\, r} + 2\right)^2 - 3}}$$

гдѣ $c = \frac{H_0^2 - (H_0 - s)^2}{2\alpha H_0}$, а остальныя буквы имѣютъ тѣ же значенія, какъ и въ вышеприведенныхъ формулахъ. Какъ увидимъ ниже (см. отд. IV, гл. 20), даже при крутыхъ, рѣдко встрѣчаемыхъ въ практикѣ, наклонахъ подошвы водоноснаго слоя или непроницаемаго пласта, уже на разстояніи $L = 300$ метр. не замѣчается никакого практическаго уклоненія отъ постояннаго уровня. Впрочемъ, ошибки, получаемыя отъ выбора значеній L и R, не точно соотвѣтствующихъ даннымъ условіямъ, не имѣютъ замѣтнаго вліянія на количественные результаты и на видъ депрессіонной кривой вблизи сборнаго канала или колодца.

Въ поясненіе вышеизложеннаго для случая колодца допустимъ, что колодецъ діам. 2 метр. опущенъ въ слой гравія съ нормальной высотой воды 30 метр. и нормальнымъ паденіемъ уровня $\alpha = 0,01$. Если уровень воды въ колодцѣ колеблется между 1 и 2 метр., то по формулѣ 41):

для $H_0 - s_1 = 29$ метр. . . . . $R = 68$ метр.
„ $H_0 - s_2 = 28,5$ „ . . . . . $R = 100$ „
„ $H_0 - s_3 = 28$ „ . . . . . $R = 133$ „

Принявъ значеніе $k = 0,001$ и $\varphi = 0,30$ и вычисливъ сперва значеніе Q по формулѣ 20), а затѣмъ значеніе t изъ формулы 40), получимъ:

r	H_0	s	$H_0 - s$	R	Q	t
1,0	30,00	1,00	29,00	68	0,0132	5988750 сек.
1,0	30,00	1,50	28,50	100	0,0180	8880460 „
1,0	30,00	2,00	28,00	133	0,0224	11886470 „

Такимъ образомъ до наступленія состоянія неизмѣняемости въ первомъ случаѣ пройдетъ 69 дней, во второмъ 103 дня, а въ третьемъ 137 дней.

Если для всѣхъ трехъ разсмотрѣнныхъ пониженій введемъ въ вычисленія $R = 100$, то $lg.\ nat. \frac{R}{r} = lg.\ nat.\ 100 = 4,60517$ и по формулѣ 20) получимъ:

$$Q = \frac{2\pi\varphi k H_0}{lg.\ nat. \frac{R}{r}} \left(s - \frac{s^2}{H_0}\right) = 0,01228 \left(s - \frac{s^2}{30}\right)$$

Отсюда получимъ:

для	$s = 1{,}00$	$s = 1{,}50$	$s = 2{,}00$
„	$Q = 0{,}012$	$Q = 0{,}018$	$Q = 0{,}024.$

Такимъ образомъ разницы въ количествахъ воды получаются весьма незначительныя, хотя значеніе $R = 100$ значительно разнится отъ значеній 68 и 133.

Вообще формулы 37)—40) весьма наглядно показываютъ, что главнымъ факторомъ, обусловливающимъ собой время, потребное для установленія состоянія неизмѣняемости, является коэффиціентъ k. Разсматриваемое время всегда обратно пропорціонально этому коэффиціенту k. Такъ какъ величина k уменьшается для очень мелкаго песку и увеличивается для крупнаго песку, то можно сказать, что состояніе равновѣсія наступаетъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ крупнѣе матеріалъ водоноснаго слоя, и обратно. Этотъ фактъ подтверждается непосредственно практическимъ опытомъ. Такимъ образомъ, если путемъ откачки желательно опредѣлить производительность грунтоваго потока, то для вѣрности получаемыхъ результатовъ откачиваніе должно продолжаться тѣмъ дольше, чѣмъ мельче матеріалъ водоноснаго слоя, и обратно. Это обстоятельство никогда не слѣдуетъ упускать изъ виду, и не слѣдуетъ удивляться тому, что сборныя сооруженія въ мелкопесчаной почвѣ по истеченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ или лѣтъ даютъ въ мѣстахъ расхода постепенно уменьшающіяся количества воды при одинаковомъ пониженіи уровня.

Выше мы упомянули, что постепенное пониженіе уровня воды происходитъ и тогда, когда изъ мѣста расхода заимствуется больше воды, нежели ея доставляется грунтовымъ потокомъ. Но въ этомъ случаѣ пониженіе происходитъ быстрѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда причина заключается въ замедленіи наступленія состоянія равномѣрности движенія воды.

Однако, весьма трудно строго отдѣлить только что разсмотрѣнныя вліянія отъ дѣйствія внѣшнихъ инфильтрацій, вызывающихъ такія же измѣненія въ состояніи равновѣсія, нарушеннаго расходомъ воды. Для правильнаго вывода изъ наблюденій надъ производительностью долго работающей пробной скважины или пробнаго колодца требуется большая точность наблюденій и проницательность, преимущественно тогда, когда имѣемъ дѣло съ водоноснымъ слоемъ неоднороднаго сложенія, къ которому не могутъ быть прямо примѣнены наши теоретическія заключенія. Къ сожалѣнію, послѣднее представляетъ собой наиболѣе часто встрѣчаемый въ практикѣ случай.

2. Движеніе воды къ сборнымъ сооруженіямъ и колодцамъ съ проницаемыми и непроницаемыми боковыми стѣнками, при непроницаемыхъ слояхъ, расположенныхъ глубже подошвъ этихъ сооруженій.

При всѣхъ предыдущихъ нашихъ разсужденіяхъ всегда предполагалось совпаденіе непроницаемаго слоя съ подошвой водосборнаго сооруженія, при горизонтальномъ или наклонномъ положеніи; при этомъ общій запасъ грунтовой воды въ предѣлахъ требуемой для цѣлей расхода ширины потока находился въ движеніи. Въ практикѣ весьма часто непроницаемый слой расположенъ гораздо глубже подошвъ колодцевъ или сборныхъ каналовъ. Если въ подобномъ случаѣ нарушится равновѣсіе, то это нарушеніе теоретически несомнѣнно произойдетъ во всемъ грунтовомъ бассейнѣ; непрерывное поступленіе въ сборное сооруженіе

всей воды, движущейся по направленію къ этому сооруженію, въ данномъ случаѣ зависитъ отъ особыхъ обстоятельствъ.

Строго говоря, это поступленіе должно, наконецъ, происходить всегда, если примемъ, что всякая даже безконечно малая причина движенія грунтовыхъ водъ дѣйствительно имѣетъ своимъ послѣдствіемъ образованіе теченія. Но послѣднее не всегда имѣетъ мѣсто. Несогласіе нашихъ вычисленій съ дѣйствительностью объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что при составленіи нашихъ основныхъ уравненій мы не приняли во вниманіе молекулярныхъ работъ въ водѣ и въ самомъ водоносномъ слоѣ въ продолженіи движенія. Мы разсматривали только работу тренія воды о зерна песку, но не принимали во вниманіе прилипанія и волосности. При весьма малыхъ силахъ, вызывающихъ движеніе, мы не замѣтимъ теченія воды вездѣ по опредѣленному направленію; чаще всего на значительномъ разстояніи отъ мѣста расхода въ извѣстныхъ мѣстахъ водоноснаго слоя происходитъ только особый родъ постояннаго движенія вокругъ песчинокъ—колебаніе грунтовыхъ водъ. Подобное же явленіе обнаруживается подъ подошвой сборнаго сооруженія. Поэтому при заимствованіи воды изъ грунтоваго резервуара мы можемъ различать неподвижную часть воды и часть, находящуюся въ движеніи; точно такъ же въ грунтовомъ потокѣ можемъ различать одну часть, въ которой скорость теченія остается неизмѣнной, и другую, въ которой вліяніе расхода обнаруживается измѣненіемъ скорости. И здѣсь, строго говоря, нарушеніе равновѣсія дѣйствуетъ на всѣ частицы воды; но на извѣстномъ разстояніи отъ мѣста нарушенія вліяніе его дѣлается для насъ уже незамѣтнымъ. Другими словами, на извѣстномъ разстояніи отъ колодца или сборнаго канала ни сбоку, ни снизу водоноснаго слоя не происходитъ движенія лежащихъ снаружи частицъ воды для возмѣщенія ея расхода.

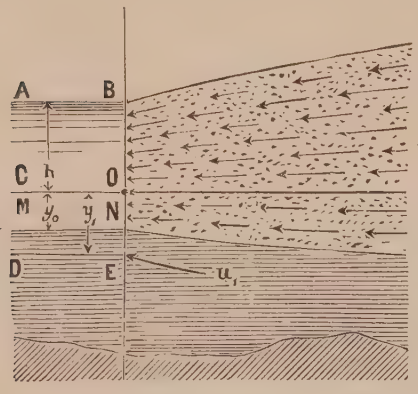
Указанное нами условіе, состоящее въ томъ, что для преодолѣнія вязкости воды и прилипанія ея къ песчанымъ зернамъ постоянно требуется извѣстная минимальная сила, для грунтоваго бассейна можетъ быть выражено еще нѣсколько иначе, а именно: при полученной путемъ нашихъ вычисленій наименьшей теоретической скорости, находящейся въ зависимости отъ матеріала водоноснаго слоя, никакого притока изъ грунтоваго запаса къ мѣсту расхода не происходитъ.

Такимъ образомъ, если уровень грунтовыхъ водъ имѣетъ такое паденіе своей поверхности, которое можетъ образовать только упомянутую минимальную, или даже еще меньшую скорость (теоретическую), то практически условія грунтовыхъ водъ будутъ одинаковы, какъ и въ случаѣ совершенно горизонтальнаго уровня. Чѣмъ мельче зерна водоноснаго слоя, тѣмъ больше можетъ быть наклонъ уровня, при которомъ не происходитъ никакого истока.

Естественное послѣдствіе этого вполнѣ правильнаго и доказаннаго практикой предположенія состоитъ въ томъ, что состояніе равновѣсія между расходомъ и притокомъ изъ грунтоваго бассейна съ горизонтальнымъ или мало наклоненнымъ уровнемъ можетъ наступить только подъ вліяніемъ притекающихъ извнѣ инфильтрацій. Если, напр., при расходѣ Q колодецъ дренируетъ область съ площадью πR^2, такъ что на разстояніи R наступаетъ минимальная скорость, то количество остающихся въ почвѣ въ жидкомъ состояніи инфильтрацій, падающихъ на площадь πR^2 въ теченіе времени t, должно быть $= Q t$. Другими словами, каждый колодецъ имѣетъ свою опредѣленную область дренированія и питается происходящими въ предѣлахъ этой области инфильтраціями. Можно также наблюдать, что при продолжительной засухѣ и постоянномъ расходѣ въ подобныхъ случаяхъ постоянно происходитъ безпрерывное пониженіе уровня, которое по наступленіи инфильтраціи обращается въ постепенное повышеніе, соотвѣтствующее приведеннымъ нами изслѣдованіямъ надъ вліяніемъ происходящихъ во время расхода инфильтрацій.

Основныя наши соображенія еще нѣсколько измѣняются для случая сборнаго сооруженія съ подошвой, не совпадающей съ непроницаемымъ слоемъ. При выводѣ основныхъ уравненій движенія грунтовыхъ водъ (см. отд. IV, гл. 20 и 21) предполагается, что скорость прохода воды черезъ вертикальное сѣченіе, перпендикулярное къ направленію движенія, одинакова по всей окружности сѣченія (или, по меньшей мѣрѣ, по всей высотѣ вертикальнаго сѣченія безконечно-малой ширины). Согласно этому предположенію, разсматривается путь частицы воды между двумя безконечно близкими вертикальными сѣченіями на разстояніи dx, т. е. горизонтальный путь длиной dx.

Въ колодцахъ и сборныхъ каналахъ, подошвы которыхъ не доходятъ до непроницаемаго слоя, упомянутое предположеніе приблизительно подтверждается только тогда, когда эти сооруженія проницаемы въ боковыхъ своихъ стѣнкахъ. Для сборныхъ же каналовъ и колодцевъ съ непроницаемыми стѣнками, въ которыхъ вся вода течетъ по подошвѣ канала или колодца, эти предположенія вовсе не оправдываются. Здѣсь развивается нѣкоторое насильственное измѣненіе направленія движенія, и во всѣхъ случаяхъ существуетъ только одно единственное горизонтальное направленіе; всѣ же остальные пути бываютъ болѣе или менѣе наклонны къ горизонтальному.



Фиг. 139.

Прежде, чѣмъ приступить къ изслѣдованію происходящаго такимъ путемъ движенія, разсмотримъ здѣсь ограничивающее наши изслѣдованія общее соображеніе, касающееся поступленія воды въ мѣсто ея расходованія.

Пусть AB (фиг. 139) означаетъ уровень воды въ колодцѣ или сборномъ каналѣ, и пусть движеніе отдѣльныхъ частицъ воды происходитъ по направленію показанныхъ на чертежѣ стрѣлокъ. Очевидно, что протекающая въ E со скоростью u_1 частица воды еще поступитъ въ водосборъ, если подошва сборнаго канала расположена въ DE. Если же подошва расположена въ MN, то частица воды должна подняться отъ E до MN, и теперь является вопросъ, при какихъ обстоятельствахъ возможно подобное поднятіе частицъ воды. Такъ какъ уровень воды AB расположенъ горизонтально, то мы видимъ, что это поднятіе частицы воды не вызывается никакой внѣшней силой. До вертикали BOE движеніе воды обусловлено паденіемъ уровня; съ лѣвой же стороны этой вертикали паденіе уровня прекращается, вслѣдствіе чего единственная сила, дѣлающая возможнымъ дальнѣйшее движеніе, состоитъ въ сообщенной частицѣ воды энергіи. Въ точкѣ E ($x=0$, $y=y_1$) послѣдней соотвѣтствуетъ высота напора $u_1^2 : 2g$. Допустимъ затѣмъ, что находящаяся въ E частица воды можетъ подняться къ подошвѣ колодца MN по кратчайшему пути $y_1 - y_0$ со скоростью $u_0 < u_1$; въ такомъ случаѣ потеря напора на этомъ пути будетъ:

$$\delta = (y_1 - y_0)\,\frac{u_0}{k}\ .$$

Рабочая высота напора опредѣляется по измѣненію энергіи, и для существованія движенія она должна быть $= \delta$. Такимъ образомъ получаемъ

$$\delta = \frac{u_1^2 - u_0^2}{2g}\ .$$

Скорость u_0, если она меньше той скорости, при которой въ водоносномъ слоѣ происходятъ только постоянныя движенія, для насъ не имѣетъ никакого значенія; поднятіе частицъ воды происходитъ только тогда, когда эта скорость дѣлается больше приведеннаго значенія. При-

нимая u_0, какъ упомянутую предѣльную скорость, получаемъ соотвѣтствующее предѣльное значеніе для величины $y_1 - y_0$ изъ уравненія:

$$42) \qquad y_1 - y_0 = \frac{k\,(u_1^2 - u_0^2)}{2\,g\,u_0} = \frac{k\,u_1^2}{2\,g\,u_0} - \frac{k\,u_0}{2\,g}\,.$$

Второй членъ правой части уравненія можетъ быть откинутъ вслѣдствіе весьма малой своей величины; но первый членъ этой части уравненія имѣетъ также весьма незначительную величину, такъ какъ обыкновенно u_1^2 бываетъ меньше u_0. Такимъ образомъ значеніе $y_1 - y_0$ во всякомъ случаѣ будетъ настолько мало, что имъ можно пренебречь безъ какой-либо замѣтной погрѣшности.

Отсюда видно, что при движеніи грунтовыхъ водъ къ сборнымъ сооруженіямъ вода ниже линіи MN, т. е. ниже того предѣла, при которомъ частицы воды поступаютъ еще въ колодецъ или сборный каналъ въ самомъ глубокомъ его мѣстѣ, можетъ считаться находящеюся въ покоѣ или соотвѣтственно въ установившемся движеніи.

Если въ неподвижной грунтовой водѣ происходитъ нарушеніе равновѣсія, то новое состояніе равномѣрности послѣ этого нарушенія будетъ иное, нежели въ случаѣ нарушенія равновѣсія въ движущейся грунтовой водѣ. Въ послѣднемъ случаѣ скорость воды до нарушенія равновѣсія имѣетъ уже опредѣленную величину и направленіе, между тѣмъ какъ во второмъ случаѣ величина и направленіе скорости обусловливается исключительно только самимъ нарушеніемъ равновѣсія. Такимъ образомъ слѣдуетъ различать два главныхъ случая:

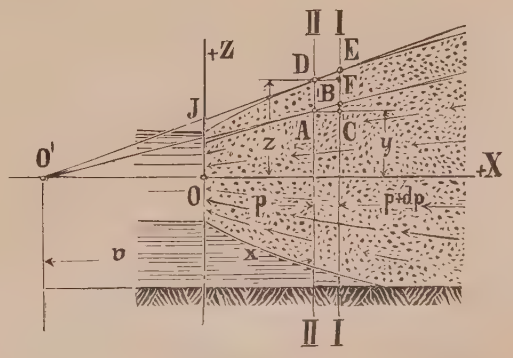
A. Расходъ воды изъ грунтоваго бассейна (съ приблизительно или совершенно горизонтальнымъ уровнемъ), и

B. Расходъ изъ грунтоваго потока.

Разсмотримъ отдѣльно оба эти случая.

A. Расходъ изъ грунтоваго бассейна.

Разсматривая движеніе воды къ сборнымъ каналамъ и колодцамъ съ проницаемыми боковыми стѣнками, мы видимъ, что отдѣльныя линіи теченія, т. е. пути двигающихся водяныхъ частицъ, подобны тѣмъ, которыя изображены кривой пониженія уровня, такъ какъ въ этомъ случаѣ кривая пониженія уровня сама по себѣ представляетъ собой линію теченія. Затѣмъ вслѣдствіе всасывающаго дѣйствія сборнаго канала (колодца) и вызываемаго имъ всегда безпрерывнаго измѣненія направленія движенія въ предѣлахъ одного вертикальнаго сѣченія, мы должны принять, что движеніе въ вертикальныхъ сѣченіяхъ I—I и II—II (фиг. 140) вообще происходитъ по воображаемой линіи O', перпендикулярной къ плоскости чертежа, а на нашемъ чертежѣ по направленію къ точкѣ O', которая представляетъ собой точку пересѣченія касательной къ элементу дуги DE съ осью кривой JDE. Тогда расположенная въ B частица воды при переходѣ изъ сѣченія I—I въ сѣченіе II—II опишетъ путь $AB = dl$, который представляетъ собой элементъ всего его пути; при этомъ $AC = dx$, $BC = dy$.



Фиг. 140.

Изъ чертежа, т. е. изъ подобія треугольниковъ, видно, что

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y}{x+v} = \frac{BC}{AC'}\,, \quad \frac{dz}{dx} = \frac{z}{x+v} = \frac{EF}{DF'}$$

откуда

$$\frac{dy}{dz}=\frac{y}{z},\quad \text{и}$$

$$43)\quad y=nz,$$

гдѣ n есть произвольная интегральная постоянная, положительное значеніе которой находится между 0 и 1. Каждому произвольному положительному или отрицательному значенію n соотвѣтствуетъ отдѣльная линія теченія.

Величина $EF=dz$ есть дифференціалъ ординаты или высоты кривой пониженія открытаго уровня. Разность $\triangle$ давленій воды между сѣченіями I—I и II—II въ произвольномъ мѣстѣ будетъ:

$$\triangle = p+dp-p=dp=\gamma.\ dz,$$

гдѣ γ означаетъ вѣсъ 1 куб. метра воды. Эта разность давленій представляетъ собою единственную движущую силу.

Пренебрегая измѣненіемъ скорости, мы видимъ что эта сила на пути $AB=dl$ должна преодолѣть работу тренія воды при проходѣ послѣдней по водоносному слою. Изъ гидравлики извѣстно (см. также отд. IV, гл. 20), что скорость u теченія составляетъ:

$$u=k\frac{dz}{dl}=k\frac{dz}{dx}\ Cosw=k\frac{dz}{dx}\cdot\frac{v+x}{\sqrt{(v+x)^2+y^2}}.$$

Но $v+x=z\dfrac{dx}{dz}$, откуда получаемъ:

$$u=\frac{k}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dz}\right)^2+\frac{y^2}{z^2}}}=\frac{k}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dz}\right)^2+n^2}}$$

или

$$44)\quad \frac{u^2}{k^2}\left[\left(\frac{dx}{dz}\right)^2+\frac{y^2}{z^2}\right]=1=\frac{u^2}{k^2}\left[\left(\frac{dx}{dz}\right)^2+n^2\right]$$

или же

$$44\text{ а})\quad y=\mp z\sqrt{\frac{k^2}{u^2}-\left(\frac{dx}{dz}\right)^2}.$$

Если извѣстно уравненіе кривой пониженія уровня, т. е $z=f(x)$, то ур. 43) и 44) въ совокупности даютъ для опредѣленнаго мѣста $(x,\ y)$ соотвѣтствующую линію теченія и соотвѣтственно также скорость.

Изъ ур. 44 а) для произвольнаго значенія u_1 получается линія, пересѣкающая линію теченія 43) въ тѣхъ точкахъ, въ которыхъ скорость бываетъ постоянной $u=u_1$. Для начала координатъ $(x=0,\ y=0)$ всегда:

$$u=k\frac{dz}{dx},$$

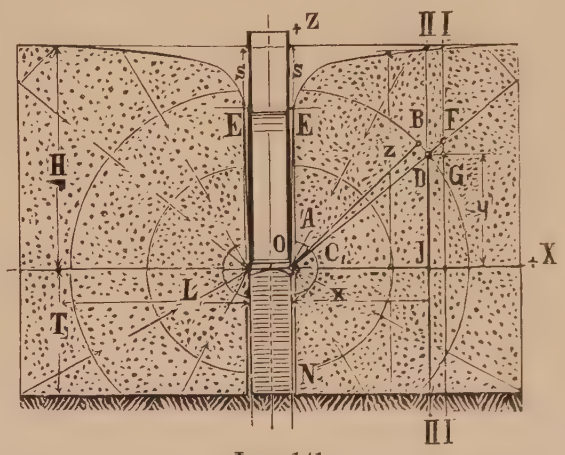
т. е. скорость имѣетъ значеніе, равное принятой нами вообще при предыдущихъ изслѣдованіяхъ. При большихъ значеніяхъ u величина y дѣлается мнимой величиной, т. е. въ дѣйствительности болѣе значительныя скорости движенія прямо невозможны.

Видъ кривой пониженія уровня мы предполагаемъ одинаковымъ съ тѣмъ, который мы выше опредѣлили для сборныхъ каналовъ и колодцевъ съ проницаемыми боковыми стѣнками. При этомъ предположеніи ур. (43 и 44) непосредственно могутъ быть примѣнены для вычисленій.

При непроницаемой оболочкѣ колодца или сборнаго канала теченіе частицъ воды изъ всевозможныхъ положеній направлено по одной

линіи или соотвѣтственно къ одной точкѣ O. Пришедшая въ движеніе вода устремляется по кратчайшему пути къ подошвенному краю непроницаемой стѣнки. Лѣвѣе линіи ON (фиг. 141) движеніе продолжаться не будетъ, такъ какъ въ этой области нѣтъ никакого паденія уровня, а слѣд. и никакой двигательной силы. Вокругъ O образуется тогда проницаемая поверхность для протекающей со всѣхъ сторонъ воды, и черезъ эту поверхность вода съ приблизительно равномѣрной скоростью поступаетъ въ водосборъ.

Для возможности выполненія относящихся сюда вычисленій необходимо знать видъ кривой пониженія уровня. Но такъ какъ мы по этому вопросу не имѣемъ никакихъ данныхъ, то раньше всего займемся опредѣленіемъ вида этой кривой, отдѣльно для сборныхъ каналовъ и колодцевъ съ круговыми цилиндрическими стѣнками; по этимъ кривымъ мы можемъ опредѣлить значенія величинъ y и u.



Фиг. 141.

1. Сборные каналы [1]). Допустимъ, что скорость на окружности круга, описаннаго изъ точки O радіусомъ равнымъ 1, одинакова по всей окружности, и обозначимъ ее черезъ a. Проводя изъ точки O подъ угломъ $BOD=dw$ два луча OB и OD, мы видимъ, что количество проходящей между обоими этими лучами (линіями теченія) воды пропорціонально скорости u въ точкѣ D или соотвѣтственно пропорціонально скорости a въ точкѣ C. Такимъ образомъ мы получаемъ:

$$BD.\ u=AC.\ a,\ \text{и}\ AC=1.\ dw,\ BD=\rho.\ dw,$$

гдѣ $\rho=OD$ означаетъ длину луча.

Если точка D имѣетъ координаты x и y, то

$$\rho^2=x^2+y^2;$$

$$\rho.\ dw.\ u=a.\ dw;$$

$$\rho=\frac{a}{u};\quad \frac{a^2}{u^2}=x^2+y^2.$$

Всѣ эти соотношенія справедливы для всякой произвольной точки (x, y), а слѣд. для различныхъ величинъ u.

DF представляетъ собой отрѣзокъ линіи теченія OCDF, расположенный между двумя безконечно близкими другъ къ другу вертикальными сѣченіями I—I и II—II; означимъ его черезъ dl. Если dz означаетъ дифференціалъ ординаты (высоты) кривой пониженія между сѣченіями I—I и II—II, то аналогично вышеприведенному скорость въ точкѣ D будетъ:

$$u=k\frac{dz}{dl}=k\frac{dz}{dx}\,Cosw,$$

[1]) Здѣсь мы принимаемъ, какъ и раньше, что притокъ происходитъ только съ одной стороны. Если же это не имѣетъ мѣста, то необходимо произвести два вычисленія.

гдѣ $dx=DG$. Затѣмъ мы имѣемъ

$$Cosw = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{xu}{a}$$

Подставивъ это значеніе въ вышеприведенное уравненіе, получаемъ:

$$dz = \frac{a}{k} \cdot \frac{dx}{x}; \quad z = \frac{a}{k}\, lg.\ nat\ (x) + C.$$

Такимъ образомъ изъ основныхъ нашихъ предположеній мы получаемъ условія, опредѣляющія свойства кривой пониженія уровня, какъ этого и слѣдовало ожидать.

Пусть на разстояніи $x=L$ уровень воды расположенъ на высотѣ H надъ осью абсциссъ; тогда

$$45)\quad z = H - \frac{a}{k}\, lg.\ nat \left(\frac{L}{x}\right);$$

По какой-нибудь другой точкѣ E кривой 45), лежащей непосредственно вблизи непроницаемой стѣнки и имѣющей координаты L_1 и $H-s$, можно опредѣлить величину a изъ ур. 45), а именно.

$$a = \frac{sk}{lg.\ nat \left(\frac{L_1}{L}\right)}$$

Кривая пониженія не касается непроницаемой стѣнки OZ. Вообще необходимо имѣть въ виду, что наши вычисленія справедливы для той области кривой пониженія, которая расположена выше уровня воды въ мѣстѣ расхода. На нашемъ рисункѣ (фиг. 141) недоступная нашимъ изслѣдованіямъ часть непосредственно вблизи непроницаемой стѣнки заштрихована. Возможность образованія подобнаго участка или клина вслѣдствіе прилипанія доказана непосредственными наблюденіями.

Впрочемъ, уравненіе линіи теченія получается изъ чертежа (фиг. 141) путемъ пропорціи:

$$FG : DG = DJ : OJ, \text{ т. е. } \frac{dy}{dx} = \frac{y}{x}, \text{ и}$$

$$46)\quad y = nx;$$

изъ уравненія

$$u = k \frac{dz}{dx}\ Cosw = k\ \frac{a}{kx}\ \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$$

получается перемѣнная величина u:

$$47)\quad u = \sqrt{\frac{a^2}{x^2+y^2}}$$

2. Колодцы. Подобно предыдущему, мы и въ данномъ случаѣ предполагаемъ равномѣрную скорость воды подъ ножомъ колодца при поступленіи въ колодезную шахту. Если послѣдняя имѣетъ радіусъ r, т. е. если r представляетъ собой разстояніе отъ наружной стѣнки до оси колодца, то притокъ воды будетъ происходить по краю подошвы, имѣющему длину $2\pi r$. Отъ цилиндрической поверхности, расположенной на разстояніи $r+x$ отъ оси колодца, вся вода притекаетъ къ колодцу; такъ какъ цилиндрическія поверхности уменьшаются по мѣрѣ приближенія къ колодцу, то происходитъ увеличеніе скорости, соединяющееся съ тѣмъ увеличеніемъ скорости, которое a priori должно произойти вслѣдствіе необходимости грунтовой воды притекать къ ножу колодца.

Пусть на какомъ-нибудь разстояніи отъ начала O (которое представляемъ себѣ какъ на фиг. 141) между двумя линіями теченія, наклоненными подъ углами dw, и между двумя вертикальными плоскостями притока, образующими между собою уголъ $d\psi$ (фиг. 142), скорость теченія воды черезъ поверхность

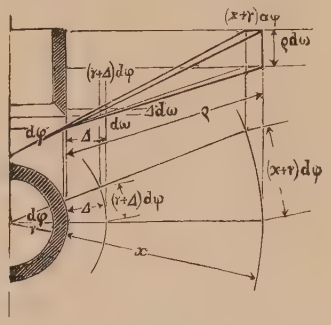
$$F_1 = (x+r)\ d\psi.\ \rho.\ dw.\ \varphi$$

будетъ $= u$. На разстояніи Δ отъ O вода протекаетъ черезъ поверхность f

$$f_1 = (r+\Delta)\ d\psi.\ \Delta.\ dw.\ \varphi,$$

гдѣ она имѣетъ постоянную скорость притока m, относящуюся къ скорости a, на разстояніи 1 отъ O, какъ

$$\frac{\Delta}{1} = \frac{a}{m}, \text{ откуда } m\ \Delta = a.$$



Фиг. 142.

Въ предѣлахъ этихъ линій и поверхностей теченія имѣемъ:

$$\frac{u}{m} = \frac{f_1}{F_1} = \frac{(r+\Delta).\ d\psi.\ \Delta.\ dw.\ \varphi}{(x+r)\ d\psi.\ \rho.\ dw.\ \varphi} = \frac{(r+\Delta)\ \Delta}{\rho\ (x+r)},$$

откуда слѣдуетъ

$$\rho = \frac{(r+\Delta)\ \Delta\ m}{u\ (x+r)}$$

Чѣмъ меньше выбрана величина Δ, тѣмъ больше будетъ m, и обратно; произведеніе же $\Delta\ m$ остается всегда одинаковымъ и равнымъ скорости a на разстояніи 1 отъ точки O. Представимъ себѣ, что Δ выбрана настолько малой, что ею, а также и ея проекціей $\Delta\ \mathrm{Cos}w$, можно пренебречь въ сравненіи со всякой конечной величиной; тогда съ достаточнымъ приближеніемъ будетъ

$$\rho = \frac{r\ a}{u\ (x+r)}.$$

Но такъ какъ по вышенайденному

$$u = k\frac{dz}{dx}\mathrm{Cos}w = k\frac{dz}{dx}.\ \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = k\frac{dz}{dx}.\ \frac{x}{\rho},$$

то, подставляя сюда значеніе ρ, получаемъ

$$u = k\frac{dz}{dx}.\ \frac{u\ (x+r)\ x}{r\ a};\ dz = \frac{ra}{k}.\ \frac{dx}{x\ (x+r)};$$

интегрированіе этого уравненія даетъ

$$z = \frac{a}{k}\ \mathrm{lg.\ nat.}\left(\frac{x}{r+x}\right) + C.$$

Для $x = R$ величина $z = H$, такъ что

$$C = H - \frac{a}{k}\ \mathrm{lg.\ nat.}\left(\frac{R}{r+R}\right).$$

Такимъ образомъ интегральное уравненіе будетъ:

$$48)\quad z = H - \frac{a}{k}\ \mathrm{lg.\ nat.}\left[\frac{R\ (r+x)}{x\ (R+r)}\right].$$

Для полученія изъ ур. 48) постоянной величины a необходимо задать себѣ еще два соотвѣтственныхъ значенія x и z. Если эти значенія будутъ R_1 и $H - s$, то

$$a = \frac{s\ k}{\mathrm{lg.\ nat.}\left[\frac{R\ (r+R_1)}{R_1\ (r+R)}\right]}.$$

Уравненіе линій теченія остается безъ измѣненія

$$49)\quad y = nx,$$

а скорость u опредѣляется по формулѣ:

$$50)\quad u = \sqrt{\frac{r^2\ a^2}{(x^2+y^2)\ (x+r)^2}}.$$

Для опредѣленія количества притекающей воды въ случаяхъ 1 и 2 можно провести въ какомъ-нибудь мѣстѣ вертикальный разрѣзъ (напр., II—II фиг. 141). Если извѣстна глубина залеганія непроницаемаго слоя, то отъ него вычисляютъ различныя скорости до кривой пониженія уровня. Затѣмъ опредѣляютъ перпендикулярныя къ вертикальному сѣченію составляющія скоростей, т. е. значенія $u_x = u\,\mathrm{Cos}w$. Изъ нихъ получится средняя скорость u_m, предполагаемая постоянной на всей длинѣ сѣченія II — II; при глубинѣ T непроницаемаго слоя подъ осью абсциссъ эта скорость даетъ притокъ:

для сборнаго канала длиной l:

$$51)\quad Q = u_m\ \varphi\ (z+T)\ l,$$

а для колодца

$$52\quad Q = 2\ \pi\ \varphi\ u_m\ (x+r)\ (z+T).$$

Въ большинствѣ случаевъ изложенный здѣсь методъ опредѣленія величины Q наиболѣе простымъ путемъ ведетъ къ данной цѣли. Для полноты изложенія считаемъ, однако, нелишнимъ здѣсь замѣтить, что на элементѣ произвольнаго сѣченія, перпендикулярнаго къ направленію теченія, существуетъ общее соотношеніе:

$$d\,Q = u\,\varphi\,d\,F,$$

гдѣ $\varphi\,d\,F$ означаетъ элементъ сѣченія для прохода воды, u — соотвѣтствующую положенію этого элемента скорость, а $d\,Q$ — количество протекающей воды. Если затѣмъ ввести параллельную оси x-овъ составляющую скорости и опредѣлить u_x на вертикали въ любомъ мѣстѣ ($x = c$), при чемъ верхній предѣлъ для y имѣетъ значеніе z_c (z для $x = c$), а нижній имѣетъ значеніе $-y_c$, то получимъ также

$$Q = \varphi \int_{-y_c}^{+z_c} u\,d\,F\ ;$$

такъ какъ $u\,d\,F$ заключаетъ въ себѣ постоянную величину y, то интегрированіе это является возможнымъ.

Указавъ на общее рѣшеніе задачи, приведемъ здѣсь нѣкоторые примѣры, поясняющіе примѣненіе выведенныхъ формулъ въ различныхъ случаяхъ.

Примѣры.

1) **Сборный каналъ съ проницаемой стѣнкой.** Допустимъ, что кривая пониженія представляетъ собой дугу параболы; тогда можемъ написать ея уравненіе, отнесенное къ координатамъ x и z:

$$z^2 = h^2 + m\,x,$$

гдѣ h означаетъ глубину оси x-овъ подъ уровнемъ воды въ сборномъ каналѣ. По этому уравненію и помощью ур. 43) получаемъ

$$y = n\ (h^2 + m\,x)\ ,$$

а по ур. 44), принимая во вниманіе, что $\frac{d\,x}{d\,z} = \frac{2\,z}{m}$, получаемъ

$$54)\qquad u^2 = \frac{m^2\,k^2\,z^2}{4\,z^4 + m^2\,y^2} = \frac{m^2\,k^2\ (h^2+m\,x)}{4\ (h^2+m\,x)^2 + m^2\,y^2}\ ,$$

или

$$54a)\quad y = \pm\sqrt{\frac{k^2\ (h^2+m\,x)}{u^2} - \frac{4\ (h^2+m\,x)^2}{m^2}}$$

Для каждаго постояннаго значенія u ур. 54а) выражаетъ собой эллипсъ. При такомъ постоянномъ значеніи u путемъ дифференцированія получается

$$\frac{d\,y}{d\,x} = \frac{m\,k^2}{2\,u^2\,y} - \frac{8\,(h^2 + m\,x)}{2\,m\,y} .$$

Мѣста, въ которыхъ касательныя къ эллипсамъ направлены горизонтально, получаются при $\frac{d\,y}{d\,x} = 0$, и для нихъ

$$x_1 = \frac{m\,k^2}{8\,u^2} - \frac{h^2}{m} .$$

Значеніе y обратится въ нуль, т. е. получится пересѣченіе эллипса съ осью абсциссъ, когда въ ур. 54а) будетъ $\frac{k^2}{u^2} = \frac{4\,(h^2 + m\,x_2)}{m^2}$, или

$$x_2 = \frac{m\,k^2}{4\,u^2} - \frac{h^2}{m} .$$

Одна ось эллипса совпадаетъ съ осью абсциссъ; половина ея длины составляетъ:

$$b = x_2 - x_1 = \frac{m\,k^2}{8\,u^2} .$$

Вторая полуось опредѣляется изъ ур. 54а) при $x = x_1$, а именно

$$a = \frac{m\,k^2}{4\,u^2} .$$

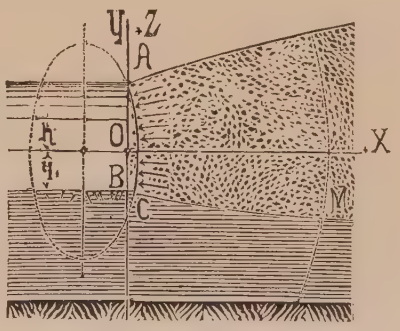
Отношеніе осей эллиптической кривой постоянныхъ u составляетъ всегда 2 : 1.

При $x = 0$ изъ ур. 54) получаются значенія u для различныхъ значеній y въ предѣлахъ отъ 0 до h выше и отъ 0 до y_1 ниже начала координатъ. Въ послѣднемъ имѣемъ $x = 0$, $y = 0$, а слѣд.

$$u_0 = \frac{m\,k}{2\,h} .$$

Для $x = 0$, $y = h$ получаемъ

$$u_1 = \frac{m\,k}{2\,h}\sqrt{\frac{4\,h^2}{4\,h^2 + m^2}} = u_0\sqrt{\frac{4\,h^2}{4\,h^2 + m^2}} .$$



Фиг. 143.

Если m представляетъ собой дробь, а h — не очень большое цѣлое число, то приблизительно можно принять $u_0 = u_1$. При $u = u_1$ изъ ур. 54а) получается уравненіе проходящаго черезъ точки A и C эллипса (фиг. 143), и изъ этого уравненія опредѣляется длина дуги эллипса $A\,C$. Умножая длину дуги на ту длину, на которой она образуетъ впускную поверхность, и на коэффиціентъ проницаемости φ, получаютъ количество притекающей воды Q. Съ достаточнымъ для практики приближеніемъ можно также примѣнить и слѣдующій способъ: опредѣляютъ между $O\,A$ и $O\,B$ различныя значенія u при $x = 0$, а именно:

$$u = \frac{m\,k\,h}{\sqrt{4\,h^4 + m^2\,y^2}} = u_0\sqrt{\frac{4\,h^4}{4\,h^4 + m^2\,y^2}} ;$$

затѣмъ берутъ среднюю изъ этихъ скоростей u_m, по которой количество воды приблизительно опредѣляется фармулой

$$Q = \varphi\,u_m\,l\,(h + y_1) ,$$

гдѣ l означаетъ длину сборнаго канала, а φ-коэффиціентъ проницаемости водоноснаго слоя

Если начало координатъ находится въ точкѣ B, т. е. если ось абсциссъ расположена на подошвѣ сборнаго канала, то при болѣе или менѣе значительной величинѣ h количество воды Q весьма незамѣтно только отличается отъ опредѣляемаго по ур. 1).

Линія $B\,M$, какъ самая нижняя линія теченія, отдѣляетъ часть воды, притекающую къ сборному каналу, отъ той части, которая находится въ состояніи постояннаго внутренняго движенія; она изображаетъ изъ себя параболу, какъ и всѣ возможныя линіи теченія, выражаемыя ур. 53).

Численнымъ примѣромъ могутъ служить слѣдующія данныя:

Выходящій изъ земли грунтовый потокъ изливается въ озеро, дно котораго вдоль берега расположено на 25 метр. ниже поверхности уровня. Протяженіе берега, считая по прямой линіи, по которой требуется опредѣлить истокъ, составляетъ 1000 метр. Буреніемъ по направленію отъ берега къ сушѣ дознано, что непроницаемый слой расположенъ на большой глубинѣ отъ 150 до 200 метр. — подъ уровнемъ воды въ озерѣ, и что перпендикулярно къ берегу озера на сушѣ на разстояніи отъ него 40 километр. уровень грунтовыхъ водъ расположенъ на 160 метровъ, а на разстояніи 50 километр. — на 181 метр. надъ уровнемъ воды въ озерѣ. Водоносный слой имѣетъ однородное строеніе; ему соотвѣтствуютъ: коэффиціентъ проницаемости $\varphi = 0{,}25$ и $k = 0{,}001$. Требуется опредѣлить количество воды, поступающей въ озеро по упомянутой длинѣ берега въ 1000 метр.

Сообразно фиг. 143, величина $AB = h + y_1 = 25$ метр. Уравненіе параболы, отнесенное къ точкѣ O, какъ къ началу координатъ, будетъ

$$z^2 = h^2 + m\,x\ ;$$

взаимно соотвѣтственныя значенія, будутъ:

$$x = 0,\ z = h\ ;\quad x = 40000\ ,\quad z = h + 160\ ;\quad x = 50000\ ,\quad z = h + 181\ ,$$

откуда

$$(h + 160)^2 = h^2 + 40000\ m;\quad (h + 181)^2 = h^2 + 50000\ m;$$

оба эти уравненія удовлетворяются при $h = 20$ и $m = 0{,}8$; такимъ образомъ $y_1 = 5$ метр. Согласно этому будетъ:

$$z^2 = 400 + 0{,}8\,x,$$

откуда получаемъ:

$$u_0 = \frac{m\,k}{2\,h} = \frac{0{,}8\ .\ 0{,}001}{40} = 0{,}0000200,$$

а слѣд.

$$u = 0{,}00002\ \sqrt{\frac{640000}{640000 + 0{,}16\,y^2}}\ .$$

Подставивъ сюда $y = -5$, получаемъ $u = 0{,}0000200$; для $y = 20$ тоже получается $u = 0{,}0000200$, т. е. эти значенія не отличаются между собой до 7-го десятичнаго знака. Такимъ образомъ количество воды опредѣляется:

$$Q = \varphi\ (h + y_0)\ l\ u_\text{m} = 0{,}25\ .\ 25\ .\ 1000\ .\ 0{,}00002 = 0{,}125 \text{ куб. метр.}$$

Вычисливъ эллипсъ, при которомъ скорость принимаетъ предѣльное значеніе 0,0000010 метра, получаемъ слѣдующую таблицу: (См. стр. 321.)

Мы здѣсь привели эту таблицу, чтобы показать, на какое значительное разстояніе простирается движеніе, какъ въ глубину, такъ и по горизонтальному направленію, даже при сравнительно большой предѣльной скорости ($u_1 = 0{,}000001$).

Опредѣляя, наконецъ, по ур. 42) разстояніе, на которомъ находящаяся подъ подошвой подвижная частица воды можетъ еще подняться вверхъ, получаемъ

$$y_1 - y_0 = \frac{0{,}001\ .\ (0{,}00002^2 - 0{,}000001^2)}{2\ .\ 9{,}81\ .\ 0{,}000001} = 0{,}00000001.$$

Поэтому выходящая изъ B линія теченія дѣйствительно будетъ отдѣлять движущуюся воду отъ неподвижной; эта линія теченія, впрочемъ, скоро встрѣчаетъ непроницаемую подошву, такъ что въ этой области встрѣтится немного неподвижной воды.

Этотъ примѣръ ясно показываетъ намъ, что при опредѣленіи количества воды не получится почти никакой погрѣшности, если будемъ разсматривать движеніе воды происходящимъ надъ горизонтальнымъ непроницаемымъ слоемъ, расположеннымъ на глубинѣ 25 метр. ниже уровня воды въ озерѣ, согласно ур. 1). Указывая на это обстоятельство, считаемъ нелишнимъ замѣтить, что оно имѣетъ мѣсто и во всѣхъ другихъ случаяхъ практики; только въ томъ случаѣ, когда одновременно существуютъ значительное паденіе кривой пониженія воды и небольшая глубина воды въ сборномъ каналѣ, результаты вычисленій по послѣднимъ формуламъ будутъ нѣсколько отличны отъ результатовъ вычисленій по ур. 1).

$x =$	$z =$	$z^2 =$	$\frac{z^2 k^2}{u^2} =$	$\frac{4 z^4}{m^2} =$	$y = \pm$
0	20,00	400	400 000 000	1 000 000	20 000
50	20,98	440	440 000 000	1 210 000	20 947
1 000	34,64	1 200	1 200 000 000	9 000 000	34 511
5 000	66,33	4 400	4 400 000 000	121 000 000	35 763
10 000	91,65	8 400	8 400 000 000	441 000 000	89 213
20 000	128,06	16 400	16 400 000 000	2 115 000 000	119 407
30 000	156,20	24 400	24 400 000 000	3 721 000 000	143 802
40 000	180,00	32 400	32 400 000 000	6 561 000 000	160 745
50 000	201,00	40 400	40 400 000 000	10 201 000 000	173 779
60 000	220 00	48 400	48 400 000 000	14 641 000 000	183 736
70 000	237,49	56 400	56 400 000 000	19 921 000 000	190 995
80 000	253,77	64 400	64 400 000 000	25 921 000 000	196 161
90 000	269,07	72 400	72 400 000 000	32 761 000 000	199 096
99 500	**282,84**	**80 000**	**80 000 000 000**	**40 000 000 000**	**200 000**
110 000	297,32	88 400	88 400 000 000	48 841 000 000	198 895
120 000	310,48	96 400	96 400 000 000	58 081 000 000	195 752
130 000	323,19	104 400	104 400 000 000	68 121 000 000	190 470
140 000	335,25	112 400	112 400 000 000	78 961 000 000	183 011
150 000	347,00	120 400	120 400 000 000	90 601 000 000	172 624
160 000	358,33	128 400	128 400 000 000	103 041 000 000	159 245
170 000	369,32	136 400	136 400 000 000	116 281 000 000	142 125
180 000	380,00	144 400	144 400 000 000	130 321 000 000	118 655
190 000	390,40	152 400	152 400 000 000	145 161 000 000	85 082
199 500	**400,00**	**160 000**	**160 000 000 000**	**160 000 000 000**	**0**

2. Колодецъ съ проницаемою стѣнкой. Если имѣемъ дѣло съ колодцемъ съ проницаемой стѣнкой, то подставивъ въ ур. 5) вмѣсто $\frac{Q}{\pi k \varphi}$ постоянную величину m, получимъ:

$$z^2 = (H_0 - s)^2 + m \lg. \text{nat.} \left(\frac{x}{r}\right); \quad \frac{dz}{dx} = \frac{m}{2xz}; \quad \frac{dx}{dz} = \frac{2xz}{m}.$$

Отсюда уравненіе линіи теченія 43) получитъ видъ:

$$55) \qquad n z = y = n \sqrt{(H_0 - s)^2 + m \lg. \text{nat.} \left(\frac{x}{r}\right)},$$

а изъ ур. 44) получаемъ:

$$56) \qquad \frac{u^2}{k^2}\left[\frac{4^{\,2} z^2}{m^2} + n^2\right] = 1.$$

Для опредѣленія скоростей у стѣнокъ колодца необходимо подставить $x = r$ и $z = h$; отсюда получится:

$$u = \sqrt{\frac{m^2 k^2}{4 r^2 h^2 + m^2 n^2}} .$$

Принимая затѣмъ для n различныя значенія, лежащія между 0 и 1, легко опредѣлить соотвѣтственныя скорости. Для $x = 0$ и $y = 0$, т. е. для начала координатъ, получается наибольшее значеніе u:

$$u_{max} = \frac{m k}{2 r h} ,$$

которое равно вышепринятому общему значенію скорости $u = k \frac{dz}{dx}$. Наименьшее значеніе u получится для $n = 1$, $y = z = h$:

$$u_{min} = \sqrt{\frac{m^2 k^2}{4 r^2 h^2 + m^2}} .$$

При значительномъ діаметрѣ колодца и большой глубинѣ въ немъ воды величина m^2 будетъ весьма мала въ сравненіи съ $r^2 h^2$, вслѣдствіе чего не получится болѣе или менѣе замѣтной разницы въ скоростяхъ поступленія воды.

Изъ ур. 56), рѣшеннаго относительно xz, получается

$$xz = \sqrt{\frac{m^2 k^2}{4 u^2} - \frac{n^2 m^2}{4}} ,$$

и такъ какъ $z = \frac{y}{n}$, то

$$xy = n \sqrt{\frac{m^2 k^2}{4 u^2} - \frac{n^2 m^2}{4}} .$$

Для каждаго постояннаго значенія u получается соотвѣтствующая постоянная n. Отсюда видно, что линіи постоянной скорости представляютъ собой равностороннія гиперболы, вершины которыхъ расположены на оси абсциссъ. Подставивъ, какъ и выше въ примѣрѣ 1, значенія: $k = \frac{1}{1266}$, $\varphi = 0{,}38$, $m = 37$, $r = 10$ и $h = 48$, получаемъ слѣдующую таблицу значеній величины u.

$n =$	$u =$	$n =$	$u =$	$n =$	$u =$	$n =$	$u =$
0,0	0,0003044	0,3	0,0003024	0,6	0,0002967	0,9	0,0002876
0,1	0,0003042	0,4	0,0003009	0,7	0,0002939	1,0	0,0002841
0,2	0,0003035	0,5	0,0002990	0,8	0,0002909		

Изъ этой таблицы, принимая во вниманіе, что параллельныя оси x-овъ составляющія скорости u весьма немного разнятся отъ величины самой u, находимъ среднее значеніе u

$$u_m = \frac{\Sigma u}{11} = \frac{0{,}0032676}{11} = 0{,}0002971 ,$$

и по этому среднему значенію u количество воды приблизительно будетъ:

$$Q = 2 \varphi \pi r h u_m = 2 \cdot 0{,}38 \cdot 3{,}14 \cdot 1 \cdot 48 \cdot 0{,}0002971 = 0{,}0341.$$

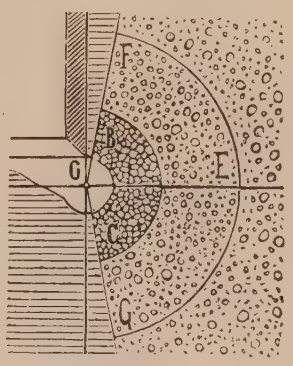
Само собой разумѣется, что въ практикѣ задача всегда обстоитъ такъ, что измѣряютъ ординаты отдѣльныхъ точекъ кривой пониженія воды, а также и количества Q, и по этимъ даннымъ опредѣляютъ общіе коэффиціенты и проч. Способъ рѣшенія подобныхъ задачъ довольно простъ.

3. Колодецъ съ непроницаемой стѣнкой. Въ колодцѣ съ непроницаемой стѣнкой вся поступающая въ него вода проходитъ подъ нижней гранью ножа черезъ сравнительно небольшое поперечное сѣченіе, вслѣдствіе чего расходъ воды изъ такихъ колодцевъ по своей величинѣ ограничивается тѣмъ обстоятельствомъ, что при опредѣленномъ матеріалѣ

водоноснаго слоя скорость не должна превышать извѣстнаго предѣла. Превышеніе скорости недопустимо потому, что при болѣе или менѣе значительной скорости матеріалъ водоноснаго слоя увлекается теченіемъ въ колодецъ, вслѣдствіе чего происходитъ заносъ его пескомъ, а иногда даже и дислокація колодца—болѣе глубокое его погруженіе.

Допускаемая предѣльная скорость можетъ быть опредѣлена только путемъ опыта. Нѣкоторые водоносные слои содержатъ въ себѣ много крупнаго песку и гравія, и если эти составныя части находятся вблизи подошвы колодца въ значительныхъ количествахъ, то при сильномъ расходѣ воды песокъ будетъ постепенно вымываться, вслѣдствіе чего на значительномъ протяженіи отъ нижней рамы колодца снаружи его можетъ образоваться крупнозернистый постоянный слой, мало препятствующій проходу воды. При этомъ вода по сравнительно большой окружности изъ находящагося въ начальномъ своемъ состояніи водоноснаго слоя поступаетъ въ колодецъ съ допускаемой предѣльной скоростью.

Пусть, напр., на фиг. 144 точка 0 представляетъ собой центръ, къ которому устремляются линіи теченія, а BC изображаетъ окружность, описанную изъ этого центра на разстояніи равномъ 1. Въ предѣлахъ этой окружности мы предполагаемъ постоянную скорость a. Легко видно, что пока на протяженіи $OE = e$ расположенъ мелкій песчаный матеріалъ, не приходящій въ движеніе при нѣкоторой предѣльной скорости u_*, когда между 0 и FG образуется крупно зернистый фильтръ, величина a имѣетъ свое предѣльное значеніе при



Фиг. 144.

$$a = \frac{FG}{BC} \cdot u_* = e\, u_*;$$

такимъ образомъ величина a можетъ быть значительно больше u, если только возможно образованіе хрящеватаго слоя между 0 и FG.

Но при совершенно́ однородныхъ свойствахъ водоноснаго слоя образованіе подобнаго пласта невозможно. Поэтому, если колодецъ съ непроницаемыми стѣнками опущенъ въ мелкозернистый песчаный водоносный слой, то даже при значительномъ его діаметрѣ доставленіе имъ воды ограничено извѣстнымъ, сравнительно небольшимъ, предѣломъ; послѣ превышенія этого предѣла вода хотя продолжаетъ доставляться колодцемъ, но вмѣстѣ съ ней въ колодецъ поступаетъ песокъ, такъ что производительность его все болѣе и болѣе ослабѣваетъ. Поэтому въ подобныхъ водоносныхъ слояхъ колодцы съ непроницаемыми стѣнками оказываются невыгодными.

Для теоретическихъ соображеній предѣльное значеніе a, опредѣляемое естественными условіями, можно считать извѣстной величиной, и въ подобномъ случаѣ легко опредѣляется предѣлъ доставляемаго количества воды.

При вычисленіи величины a по формулѣ 48), согласно результатовъ наблюденій, необходимо имѣть въ виду, что эта формула непримѣнима для непосредственной близости къ стѣнкѣ колодца (см. выше). Однако, слѣдуетъ замѣтить, что вліяніе прилипанія къ оболочкѣ колодца простирается до извѣстнаго предѣла, не далѣе 50 сантим. отъ края. Такимъ образомъ всѣ точки, расположенныя по меньшей мѣрѣ на 50 сантим. отъ стѣнокъ, могутъ служить для наблюденій надъ кривой пониженія уровня.

Принимая для практическаго примѣра $R = 200$, $H = 50$, $r = 1$, $k = \frac{1}{1266}$ $u\,\varphi = 0{,}33$ и допуская, что при расходѣ воды уровень ея на разстояніи 0,5 метр. опредѣленъ въ 48 метр., получаемъ сперва величину a:

$$a = \frac{2 \cdot \frac{1}{1266}}{\text{lg. nat.} \left\{\frac{200\ (1 + 0{,}5)}{0{,}5\ (1 + 200)}\right\}} = 0{,}002279\ ;$$

затѣмъ по формулѣ 48) опредѣляемъ наиболѣе важныя ординаты для полученія вида кривой, какъ показано въ слѣдующей таблицѣ:

$x =$	$z =$	$H - z$	$x =$	$z =$	$H - z$	$x =$	$z =$	$H - z$
0,50	48,000	2,000	10,00	49,738	0,262	100,00	49,986	0,014
1,00	48,015	1,986	25,00	49,901	0,099	150,00	49,994	0,006
5,00	49,488	0,512	50,00	49,957	0,043	200,00	50,000	0,000

Отсюда видно, что вблизи колодца паденіе кривой быстро увеличивается, между тѣмъ какъ на разстояніи отъ 10 до 200 метр. оно уже весьма незначительно; на послѣднемъ протяженіи кривая гораздо отложе, нежели для колодцевъ съ проницаемой оболочкой.

Разсматривая скорость на разстояніи $x = 10{,}00$, мы по формулѣ 50) получаемъ:

$$u = \frac{0{,}002279}{11} \sqrt{\frac{1}{100 + y^2}},$$

и для различныхъ значеній y получаются слѣдующія значенія скорости:

$y =$	$u =$	$y =$	$u =$	$y =$	$u =$	$y =$	$u =$
0	0,0000207	15	0,0000115	30	0,0000066	45	0,0000045
5	0,0000185	20	0,0000093	35	0,0000057	49,738	0,0000041
10	0,0000146	25	0,0000077	40	0,0000050		

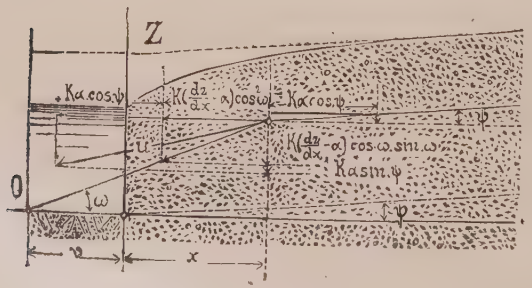
Такимъ образомъ мы видимъ, что минимальная скорость составляетъ $^4/_5$ наибольшей скорости, имѣющей мѣсто на оси x-овъ. Чѣмъ больше удаляемся отъ колодца, тѣмъ скорость будетъ равномѣрнѣе по всему поперечному сѣченію.

Опредѣленіе количества воды наиболѣе простымъ образомъ производится путемъ графическаго опредѣленія длины дуги круга, на которой u имѣетъ постоянную величину, а по ней опредѣляется соотвѣтственная поверхность прохода воды φF (поверхности вращенія), послѣ чего количество Q получается простымъ перемноженіемъ ($Q = \varphi F u$). Для большого разстоянія отъ колодца, гдѣ, какъ мы упомянули, скорость бываетъ почти равномѣрна, это вычислені еможетъ быть произведено по средней скорости въ вертикальномъ сѣченіи.

Условія остаются совершенно одинаковыми и для сборнаго канала.

B. Расходъ изъ грунтоваго потока.

Въ томъ случаѣ, когда грунтовая вода находится уже въ движеніи, при расположеніи водосбора выше непроницаемаго слоя часть движущейся воды протекаетъ подъ водосборомъ. Представимъ себѣ опять, что измѣненіе направленія теченія происходитъ по притягивающей прямой или соотвѣтственно отъ точки O (фиг. 145). До водосбора грунтовая вода повсюду могла имѣть равномѣрную скорость u_1 и наклонъ ψ къ горизонтали. Со скоростью u_1 теперь комбинируется скорость, вызванная расходомъ и направленная къ точкѣ O. Рабочая или дѣйствительная высота напора dz состоитъ изъ постояннаго, свойственнаго водоносному слою, паденія α. $dx = tg\,\psi\,dx$,



Фиг. 145.

вызывающаго скорость u_1, и остатка $dz - \alpha . dx$, служащаго для отклоненія воды къ каналу (или колодцу). Направленная къ точкѣ O и вызванная дѣйствіемъ указаннаго остатка напора скорость наклонена къ оси абсциссъ подъ угломъ w и имѣетъ величину:

$$k\frac{dz - \alpha . dx}{dx} . \ \mathrm{Cos}w = k\frac{dz}{dx} . \ \mathrm{Cos}w - k\alpha . \ \mathrm{Cos}w.$$

Разлагая эту скорость на двѣ составляющихъ, изъ коихъ одна направлена по оси Y-овъ, а другая по оси X-овъ, получаемъ:

$$\text{составляющую по оси Y-овъ} = \left(k\frac{dz}{dx} - k\alpha\right) \mathrm{Cos}w . \ \mathrm{Sin}w,$$

$$\text{составляющую по оси X-овъ} = \left(k\frac{dz}{dx} - k\alpha\right) \mathrm{Cos}^2 w.$$

Скорость u_1 разлагается на составляющія:

по оси Y-овъ: $k\alpha . \ \mathrm{Sin}\ \psi$

„ „ X-овъ: $k\alpha . \ \mathrm{Cos}. \ \psi.$

Такимъ образомъ получаемъ составляющія равнодѣйствующей скорости:

$$\frac{dy}{dt} = u_y = \left(k\frac{dz}{dx} - k\alpha\right) \mathrm{Cos}w . \ \mathrm{Sin}w + k\alpha . \ \mathrm{Sin}\ \psi,$$

$$\frac{dx}{dt} = u_x = \left(k\frac{dz}{dx} - k\alpha\right) \mathrm{Cos}^2 w + k\alpha . \ \mathrm{Cos}\ \psi.$$

Абсолютная величина равнодѣйствующей скорости получается изъ ур.

$$57) \quad u^2 = u_x^2 + u_y^2,$$

а наклонъ ея опредѣляется уравненіемъ:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{u_y}{u_x} = \frac{\left(\frac{dz}{dx} - \alpha\right) \mathrm{Cos}w . \mathrm{Sin}w + \alpha\, \mathrm{Sin}\,\psi}{\left(\frac{dz}{dx} - \alpha\right) \mathrm{Cos}^2 w + \alpha . \ \mathrm{Cos}\,\psi},$$

причемъ, если точка O, какъ и раньше, лежитъ на пересѣченіи касательной z съ осью абсциссъ, то получается

$$\mathrm{Cos}w = \frac{x + v}{\sqrt{(x+v)^2 + y^2}} = \frac{z\frac{dz}{dx}}{\sqrt{z^2\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + y^2}},$$

$$\mathrm{Sin}w = \frac{y}{\sqrt{(x+v)^2 + y^2}} = \frac{y}{\sqrt{z^2\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + y^2}},$$

Отсюда послѣ подстановки получается:

$$58) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{\left(\frac{dz}{dx} - \alpha\right)\frac{yz\frac{dz}{dx}}{z^2\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + y^2} + \alpha\ \mathrm{Sin}\ \psi}{\left(\frac{dz}{dx} - \alpha\right)\frac{z^2\left(\frac{dz}{dx}\right)^2}{z^2\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + y^2} + \alpha\ \mathrm{Cos}\ \psi}.$$

Намъ не удалось получить въ конечномъ видѣ интегралъ этого уравненія при опредѣленныхъ значеніяхъ.

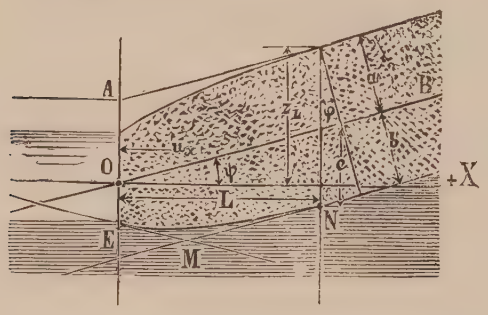
Тѣмъ не менѣе нѣкоторыя соображенія, относящіяся къ особеннымъ положеніямъ кривой пониженія, могутъ служить для опредѣленія движенія воды для случая сборнаго канала.

Прежде всего здѣсь, какъ и раньше, можно указать на то, что на нѣкоторомъ разстояніи $x = L$ отъ водосбора никакого измѣненія паденія уровня вслѣдствіе расхода воды въ дѣйствительности не обнаруживается. Для значеній x, которыя больше L, поэтому будетъ $\frac{dz}{dx} = tg.\psi = \alpha$, и ур. 58) тогда даетъ намъ

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\alpha \operatorname{Sin}\psi}{\alpha \operatorname{Cos}\psi} = \alpha .$$

Такимъ образомъ для всѣхъ значеній $x > L$ линія теченія принимаетъ видъ, выраженный уравненіемъ:

$$59) \qquad y = \alpha x + C' .$$



Фиг. 146.

Другими словами, линіи теченія направлены параллельно кривой пониженія и представляютъ собой прямыя линіи. Равнодѣйствующая скорость получается равной

$$u = k\,\alpha .$$

Скорости для $x = 0$, т. е. скорости поступленія воды въ каналъ, могутъ быть точно вычислены по этимъ новымъ формуламъ. Въ этомъ случаѣ необходимо опредѣлить значеніе u_x. Уравненіе кривой пониженія для начала координатъ 0 (фиг. 146) даетъ:

$$z = h\,;\ \frac{dz}{dx} = m ,$$

причемъ h и m суть постоянныя величины.

Согласно этого для линіи $A\,0\,E$ имѣемъ:

$$u_x = k\left[(m-\alpha)\ \frac{h^2 m^2}{h^2 m^2 + y^2} + \alpha \operatorname{Cos}\psi\right] ,$$

и для опредѣленія различныхъ значеній u_x остается только подставлять значенія y (начиная съ $y = OE = -y_0$ и кончая $y = +h$). Среднее значеніе всѣхъ этихъ величинъ u_x пусть будетъ u_m. Если OB представляетъ собой проведенный подъ угломъ ψ лучъ, то получится

$$\frac{u_m}{k\ \alpha} = \frac{h + y_0}{a + b} ,$$

гдѣ величина a дана, а b — искомая величина.

Значеніе a опредѣляется изъ равенства:

$$a = zL - \alpha L) \operatorname{Cos}\psi .$$

Послѣ опредѣленія отсюда величины b получаемъ

$$c = \frac{b}{\operatorname{Cos}\psi} = -C'.$$

Такимъ образомъ мы опредѣлили уравненіе линіи теченія, кончающейся въ E, для той части чертежа, въ которой $x > L$.

Для $x = 0$ получаемъ $z = h$ и $\frac{dz}{dx} = m$, такъ что

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(m-\alpha)\ \frac{y\,h\,m}{h^2 m^2 + y^2} + \alpha \operatorname{Sin}\psi}{(m-\alpha)\ \frac{h^2 m^2}{h^2 m^2 + y^2} + \alpha \operatorname{Cos}\psi} .$$

При $y = -y_0$ касательная соотвѣтствуетъ линіи, которая пересѣкаетъ выраженную ур. 59) линію съ линіей $C' = -\frac{b}{\operatorname{Cos}\psi}$ въ точкѣ M. Дуга расположена выше M, между E и N. Для практическаго рѣшенія задачи необходимо принять во вниманіе, что частицы воды, движущіяся ниже дуги $E\,N$, по изложеннымъ выше причинамъ, не попадаютъ въ водосборъ. Поэтому можно съ точностью опредѣлить количество поступающей въ водосборъ воды Q. Для сборныхъ каналовъ оно будетъ:

$$Q = \varphi\, l\, (h + y_0)\, u_m .$$

Какъ на главный результатъ всѣхъ произведенныхъ нами изслѣдованій, мы можемъ указать на то, что при водоносномъ слоѣ вполнѣ однородныхъ качествъ въ колодцахъ съ проницаемыми стѣнками, а также и въ сборныхъ каналахъ съ проницаемыми стѣнками, производительность или количество доставляемой воды, существеннымъ образомъ зависитъ отъ глубины погруженія водосбора въ грунтовый резервуаръ, и весьма неправильно будетъ предполагать, что подобный колодезь улавливаетъ всю воду, находящуюся въ предѣлахъ ограничивающихъ его поверхностей, безразлично доходитъ ли онъ до непроницаемаго слоя или нѣтъ. Колодцы и сборные каналы съ непроницаемыми стѣнками въ неподвижной грунтовой водѣ привлекаютъ воду отъ поверхности ея уровня до непроницаемаго слоя. Грунтовыя воды, находящіяся въ движеніи*), привлекаются только до извѣстной глубины подъ подошвой водосбора, независимо отъ расположенія послѣдняго.

Въ дѣйствительности же однородныя свойства водоноснаго слоя встрѣчаются весьма рѣдко; поэтому выведенныя нами только для подобнаго случая формулы въ примѣненіи на практикѣ должны подвергаться различнымъ измѣненіямъ. Основной же принципъ, выраженный этими формулами, остается въ полной силѣ.

Здѣсь мы можемъ указать на слѣдующія подготовительныя работы при изысканіяхъ и опредѣленіяхъ грунтовой воды въ соотвѣтствующихъ водоносныхъ слояхъ (къ которымъ преимущественно относятся отложенный рѣками горный мусоръ, отложенія ледниковаго періода, обломочныя породы всякаго вида, образовавшіяся отъ вывѣтриванія, а также и нанесенные дѣйствіемъ вѣтра пески и проч.). Эти подготовительныя работы состоятъ въ слѣдующемъ:

1. Въ составленіи плана отмѣтокъ горизонта грунтовыхъ водъ и правильныхъ наблюденіяхъ за ними.

2. Въ общемъ систематическомъ изслѣдованіи подпочвы.

3. Въ устройствѣ и наблюденіи за пробнымъ колодцемъ или скважиной (см. ниже).

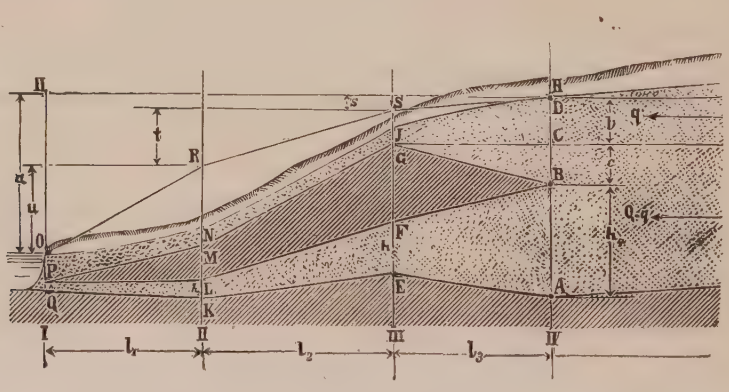
Работа 1 даетъ намъ общую картину теченія находящейся наиболѣе близко къ земной поверхности грунтовой воды. Изслѣдованіе 2 помощью буренія и ряда наблюденій показываютъ намъ, существуютъ ли на болѣе или менѣе значительной глубинѣ какія-либо другія движенія воды, отличныя отъ замѣчаемыхъ вблизи земной поверхности, а также и указываютъ намъ на измѣненіе матеріала водоноснаго слоя и другія особенности. Изслѣдованія 3 главнымъ образомъ даютъ намъ понятіе о постоянствѣ, качествѣ и температурѣ имѣющейся въ распоряженіи воды и, произведенныя правильно, они удостовѣряютъ вѣроятность постояннаго полученія въ данномъ мѣстѣ требуемаго количества воды.

Здѣсь мы еще разъ повторяемъ сказанное нами выше, что изслѣдованія и испытанія должны производиться тѣмъ болѣе продолжительное время, чѣмъ мельче матеріалъ водоноснаго слоя. Опытъ показываетъ, что если опыты откачки продолжаются только нѣсколько недѣль, то весьма рѣдко можно разсчитывать на продолжительное полученіе воды въ количествѣ, эквивалентномъ результатамъ испытаній, такъ какъ въ теченіе только короткаго времени не можетъ еще устано-

*) Дѣйствительное теченіе сопряжено съ тѣмъ условіемъ, что естественное паденіе поверхности больше, нежели потребное для образованія минимальной скорости.

виться извѣстное состояніе равновѣсія; при сравнительно кратковременныхъ испытаніяхъ вѣрнѣе будетъ принимать постоянную производительность только въ одну третью или одну четвертую часть полученной при испытаніяхъ производительности, если только въ данномъ случаѣ мы не имѣемъ дѣла съ неисчерпаемыми до нѣкоторой степени запасами воды, какъ это, напр., имѣетъ мѣсто въ большихъ рѣчныхъ долинахъ.

Составленіе профили горизонта грунтовыхъ водъ или плана отмѣтокъ поверхности этихъ водъ обыкновенно производится помощью сѣти колодцевъ или пробныхъ ямъ. Примѣненіе существующихъ въ данной мѣстности колодцевъ съ насосами въ подобномъ случаѣ оказывается весьма цѣлесообразнымъ; но при этомъ необходимо постоянно имѣть въ виду, что дѣйствіе колодца измѣняетъ отмѣтку уровня, и поэтому измѣренія должны производиться въ такое время, которому предшествовалъ извѣстный періодъ бездѣйствія колодцевъ. У каждаго колодца или у каждой пробной ямы должна быть отмѣчена неподвижная точка, высота которой надъ уровнемъ моря должна быть точно опредѣлена, и къ положенію которой должны быть отнесены ежедневныя, еженедѣльныя и ежемѣсячныя измѣренія. Вообще кривыя горизонтали этого плана отмѣтокъ будутъ расположены на нѣкоторыхъ разстояніяхъ одна отъ другой; если онѣ сближаются между собой, то паденіе увеличивается; если же онѣ удаляются другъ отъ друга, то незначительное уже паденіе оказывается достаточнымъ для передвиженія грунтовыхъ водъ. Появляющіяся разницы паденія указываютъ или на измѣненіе положенія водонепроницаемаго слоя или же на съуженіе, и соотвѣтственно на уширеніе, профили русла грунтоваго потока, или же, наконецъ, что наиболѣе часто имѣетъ мѣсто, на измѣненіе проницаемости водоноснаго слоя. Если горизонтали грунтовыхъ водъ обнаруживаютъ значительные изгибы, то въ вогнутыхъ мѣстахъ воды текутъ на встрѣчу другъ другу; для сбора воды весьма раціонально будетъ именно выбирать подобныя мѣста. Если въ какомъ-либо мѣстѣ замѣчается сильное паденіе, обусловливаемое не уменьшеніемъ проницаемости водоноснаго слоя, а уменьшеніемъ поперечнаго сѣченія прохода воды отъ поднятія непроницаемаго слоя или боковыхъ съуженій (ср. отд. IV, гл. 20), то и подобныя мѣста должны считаться наиболѣе благопріятными для сбора воды.



Фиг. 147.

Наиболѣе важное значеніе имѣетъ напластованіе водоноснаго слоя въ горизонтальномъ направленіи. Очень часто среди проницаемаго матеріала встрѣчаются непроницаемыя прослойки, раздѣляющія грунтовой потокъ на двѣ отдѣленныхъ другъ отъ друга части съ совершенно различными напорами и скоростями теченія.

Представимъ себѣ изображенное на ф. 147 залеганіе глинистаго пласта *PMGBFLP* и опредѣлимъ вліяніе его на видъ поверхности грунтоваго потока и на давленія въ образуемомъ рукавѣ *BFLPQKEA*. Надъ глинистымъ слоемъ теченіе будетъ происходить по линіи *JNO*, опредѣленіе которой будетъ разсмотрѣно нами ниже (см. отд. IV, гл. 20); черезъ поперечное сѣченіе *JG*, при ширинѣ грунтоваго потока, равной единицѣ, согласно ур. 2), количество проходящей воды будетъ

$$q = \frac{\varphi k (\overline{CD}^2 - \overline{JG}^2)}{2 \cdot GC}$$

Если черезъ Q обозначимъ все количество воды, доставляемой потокомъ, то черезъ сѣченіе AB должно поступать количество воды $Q - q$. Отнесенное къ единицѣ ширины потока водопроницаемое поперечное сѣченіе во всякомъ произвольномъ мѣстѣ между AB и FE, для даннаго горизонтальнаго разстоянія его x отъ точки A, опредѣляется по формулѣ:

$$F_x = \varphi\left(h_4 - \frac{h_4 - h_3}{l_3}\, x\right).$$

Такимъ образомъ при скорости теченія v получается зависимость

$$v = \frac{Q - q}{F_x} = k\,\frac{dz}{} = \frac{Q - q}{\varphi\left(h_4 - \dfrac{h_4 - h_3}{l_3}\, x\right)}.$$

Отсюда слѣдуетъ:

$$z = \int_0^{l_3} \frac{(Q - q)\,dx}{k\,\varphi\left(h_4 - \dfrac{h_4 - h_3}{l_3}\, x\right)} = \frac{(Q - q)\,l_3}{k\,\varphi\,(h_4 - h_3)}\ \text{lg. nat.}\ \left(\frac{h_4}{h_3}\right).$$

Но значеніе z представляетъ собой ничто иное, какъ потерю напора s на протяженіи l_3. Аналогично съ этимъ опредѣляются:

$$t = \frac{(Q - q)\,l_2}{k\,\varphi\,(h_3 - h_2)}\ \text{lg. nat.}\ \left(\frac{h_3}{h_2}\right), \qquad u = \frac{(Q - q)\,l_1}{k\,\varphi\,(h_2 - h_1)}\ \text{lg. nat.}\left(\frac{h_2}{h_1}\right).$$

Отсюда опредѣляются мѣста R и S, въ которыхъ вода будетъ подыматься по обсадной трубѣ, опущенной въ водоносный слой сквозь глиняный пластъ.

Для численнаго примѣра возьмемъ: $\varphi = 0{,}30$; $k = 0{,}001$; $CD = 6$; $JG = 2$; $h_1 = 1{,}5$; $h_2 = 2{,}5$; $h_3 = 7{,}5$; $h_4 = 15$; $l_1 = 210$; $l_2 = 250$; $l_3 = 210$; $a = 21$. Тогда сперва

$$q = \frac{0{,}3\,.\,0{,}001\,(36 - 4)}{2.210} = 0{,}000022857 \text{ кубич. метр.}$$

и, какъ видно изъ чертежа,

$$a = 21 = s + t + u.$$

Затѣмъ получаемъ:

$$s = \frac{(Q - 0{,}0000229)\,.\,210\,.\,\text{lg. nat. } 2}{0{,}3\,.\,0{,}001\,(15 - 7{,}5)} = 64694\,(Q - 0{,}0000229);$$

$$t = \frac{(Q - 0{,}0000229)\,.\,210\,.\,\text{lg. nat. } 3}{0{,}3\,.\,0{,}001\,(7{,}5 - 2{,}5)} = 183102\,(Q - 0{,}0000229);$$

$$u = \frac{(Q - 0{,}0000229)\,.\,210\,.\,\text{lg. nat. } 1{,}667}{0{,}3\,.\,0{,}001\,(2{,}5 - 1{,}5)} = 357581\,(Q - 0{,}0000229).$$

Отсюда слѣдуетъ:

$$21 = s + t + u = 605377\,(Q - 0{,}0000229);$$
$$Q = 0{,}000057546; \qquad Q - q = 0{,}000034689;$$
$$s = 2{,}24;\ t = 6{,}35;\ u = 12{,}41.$$

Подобнымъ же образомъ путемъ вычисленій можно составить себѣ вполнѣ ясное представленіе о различныхъ давленіяхъ, существующихъ въ водоносномъ слоѣ, раздѣленномъ нѣсколькими подобными глинистыми прослойками.

Если вмѣсто совершенно непроницаемаго пласта представимъ себѣ залеганіе проницаемаго пласта, для котораго значеніе k существенно отличается отъ значенія его для остального водоноснаго слоя, то получатся нѣсколько иныя условія, которыя въ общемъ будутъ нами разсмотрѣны ниже (см. отд. IV, гл. 21). Нетрудно видѣть, что залеганія, напр., рѣчного песку съ чрезмѣрно малой величиной k вызовутъ тѣ же явленія, которыя были нами разсмотрѣны для глинистыхъ прослойковъ. Наоборотъ слишкомъ крупнозернистые прослойки дѣйствуютъ такимъ же образомъ, какъ искусственный дренажъ. Если измѣненіе характера матеріала происходитъ такимъ образомъ, что мелкій песокъ непроницаемаго слоя находится вверху, образуя какъ бы плотину поперекъ грунтоваго потока, то получится особый видъ грунтоваго горизонта, который можетъ быть выраженъ формулой, если извѣстны математическія соотношенія измѣненія характера матеріала, какъ мы это увидимъ ниже (см. отд. IV, гл. 21).

Зная свойства подпочвы, легко сдѣлать себѣ представленіе о состояніи движенія. Но само по себѣ изслѣдованіе свойствъ подпочвы сопряжено съ большими затрудненіями. Буренія, составляющія единственное, имѣющееся въ распоряженіи, средство изслѣдованія, очень часто даютъ поводъ къ ошибкамъ, когда по буровой мукѣ или шламу приходится заключать о прой-

денныхъ слояхъ. По наблюденіямъ Тима [1]) особенно часто встрѣчаются весьма тонкія, но непроницаемыя прослойки, которыя могутъ разъединить потокъ, образуя въ немъ различныя отдѣленія (такъ назыв. водяные этажи).

Въ общемъ можно сказать, что въ случаѣ постоянно одинаковаго уровня воды при опусканіи обсадной трубы, можно разсчитывать на однообразное движеніе грунтоваго потока. Само собой разумѣется, что этимъ нисколько не исключается возможность раздѣленія самого потока залегающими въ немъ непроницаемыми прослойками на отдѣльныя части, въ которыхъ, въ случаѣ нарушенія равновѣсія въ потокѣ вслѣдствіе расхода воды, могутъ существовать различныя давленія. Если при опусканіи обсадной трубы обнаруживается измѣненіе уровня въ ней воды, то это служитъ признакомъ измѣненія давленія въ подпочвѣ, т. е. въ этомъ случаѣ можно предполагать различныя теченія въ разныхъ отдѣленіяхъ потока. Если существуетъ сомнѣніе относительно положенія раздѣляющихъ поверхностей, то оно можетъ быть разъяснено помощью двухъ скважинъ, заложенныхъ на небольшомъ разстояніи другъ отъ друга. Одна изъ этихъ скважинъ закладывается глубоко и служитъ откачивающимъ колодцемъ; подъ вліяніемъ откачки изъ этого колодца въ другой скважинѣ уровень воды измѣняется до тѣхъ поръ, пока нижній конецъ скважины находится въ томъ же отдѣленіи потока. Если постепенно вытягивать обсадную трубу изъ послѣдней скважины, то въ томъ мѣстѣ, гдѣ прекращается вліяніе откачки изъ перваго колодца, расположено начало независимаго отдѣленія потока. Впрочемъ, не всегда легко получить ясное представленіе о движеніи подпочвеннаго потока, изученіе котораго во многихъ случаяхъ требуетъ заложенія болѣе или менѣе значительнаго числа скважинъ на различныя глубины, подробнаго изслѣдованія взаимныхъ вліяній откачки и проч. Выводъ правильныхъ заключеній изъ полученныхъ результатовъ, само собой разумѣется, довольно затруднителенъ и требуетъ большаго навыка и опытности, а также и правильныхъ теоретическихъ разсужденій.

Тѣмъ не менѣе можетъ случиться, что даже самому опытному инженеру, послѣ изученія имъ подземнаго потока путемъ буреній и измѣреній скоростей, нѣкоторыя обстоятельства остаются еще невыясненными. Поэтому весьма цѣлесообразно вторично провѣрить полученные результаты путемъ непосредственнаго опыта, нисколько не смущаясь указаніями на устарѣлость этого метода. Это испытаніе производится путемъ заложенія пробныхъ колодцевъ и скважинъ (см. ниже).

Выше мы указали на тѣ явленія, которыя наблюдаются при дѣйствіи колодцевъ опущенныхъ въ грунтовый резервуаръ; такимъ образомъ при наблюденіи за пробными колодцами не встрѣтится никакихъ сомнѣній относительно получаемыхъ результатовъ и дѣлаемыхъ по нимъ заключеній. При этихъ наблюденіяхъ и вообще при дѣйствіи пробныхъ колодцевъ весьма важное значеніе имѣетъ качество получаемой воды, преимущественно если колодецъ находится вблизи открытыхъ водоемовъ. Температура воды во время расхода, а также и измѣненіе химическихъ свойствъ выяснятъ намъ зависимость грунтовой воды отъ открытаго водоема и степень вреднаго вліянія этой зависимости на удовлетворительность выбраннаго мѣста водосбора.

Одно изъ весьма важныхъ преимуществъ пробнаго колодца или пробной скважины состоитъ въ томъ, что онъ непосредственно и наглядно указываетъ на присутствіе воды, разсѣивая всякія сомнѣнія, иногда высказываемыя нѣкоторыми лицами относительно различныхъ другихъ способовъ, приведенныхъ нами выше.

При изысканіи соотвѣтственныхъ мѣстъ для сбора грунтовыхъ водъ необходимо еще разъ принять во вниманіе вышеприведенныя нами (см. отд. I, гл. 7 и 11) соображенія. Если исключительно принять во вниманіе теченіе грунтовыхъ водъ, то мѣсто, гдѣ возможно добыть извѣстное количество воды при наименьшихъ затратахъ, лежитъ тамъ, гдѣ наибольшее количество воды протекаетъ черезъ сравнительно наименьшую профиль. Съ большою вѣроятностью можно найти подобное мѣсто при изгибахъ горизонталей уровня грунтоваго потока; точно также въ данномъ мѣстѣ тѣмъ вѣрнѣе можно разсчитывать на полученіе большихъ количествъ воды, чѣмъ въ немъ крупнѣе зерна водоноснаго слоя.

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1887. гл. 31, стр. 1136.

Способъ опредѣленія подобныхъ мѣстъ указанъ нами выше. Впрочемъ, по нѣкоторымъ инымъ соображеніямъ другія мѣста могутъ оказаться болѣе предпочтительными предъ выбранными нами мѣстами, какъ напр., вслѣдствіе отдаленности мѣста сбора отъ снабжаемой мѣстности, затруднительности отчужденія или пріобрѣтенія земли, возможности загрязненія и проч. Въ этомъ отношеніи никакихъ общихъ указаній дѣлать невозможно.

Наиболѣе цѣлесообразный способъ добыванія воды будетъ нами разсмотрѣнъ въ слѣдующихъ главахъ. Здѣсь же замѣтимъ вообще, что въ тѣхъ случаяхъ, когда непроницаемый слой расположенъ на небольшой глубинѣ подъ горизонтомъ грунтовыхъ водъ, а послѣдній расположенъ вблизи поверхности почвы, пробная скважина представляетъ собой наиболѣе правильное средство изысканія. Если же горизонтъ грунтовыхъ водъ и непроницаемый слой расположены глубоко, то колодецъ представляетъ собой наиболѣе дешевый способъ изысканія; при мелкозернистомъ водоносномъ слоѣ и глубокомъ колодцѣ постоянно примѣняютъ незначительнаго діаметра колодецъ или *обсадную трубу съ проницаемыми стѣнками*. При крупно-хрящеватыхъ подпочвахъ часто предпочитаютъ опусканіе *колодцевъ большого діаметра съ непроницаемыми стѣнками*. При всякаго рода предварительныхъ работахъ, будь это отысканіе воды въ горахъ или пробныя скважины и колодцы, безусловно требуется точное зарегистрированіе всѣхъ результатовъ наблюденій. При этомъ предварительныя изысканія не должны ограничиваться только наблюденіемъ соотношенія между величиной расхода и депрессіей горизонта грунтовыхъ водъ, а должны заключать въ себѣ также и наблюденія надъ температурой воды и воздуха, надъ измѣненіемъ физическихъ и химико-бактеріологическихъ свойствъ воды, надъ соотношеніемъ осадковъ къ расходу и къ измѣненію горизонта грунтовыхъ водъ, и преимущественно должны заключать въ себѣ сравненіе результатовъ наблюденій съ состояніемъ сосѣднихъ сооруженій, которыя находятся въ подобныхъ же условіяхъ, но въ которыхъ равновѣсіе осталось не нарушеннымъ. Отсутствіе своевременно и правильно произведенныхъ наблюденій, повтореніе которыхъ впослѣдствіи оказывается невозможнымъ, лишаетъ насъ точныхъ свѣдѣній, а вмѣстѣ съ тѣмъ и неопровержимыхъ указаній по данному вопросу.

Само собой разумѣется, что исходной точкой для всѣхъ этихъ наблюденій служитъ состояніе до начала нарушенія равновѣсія; слѣд., всѣ предварительныя работы должны начинаться при установившемся состояніи равновѣсія.

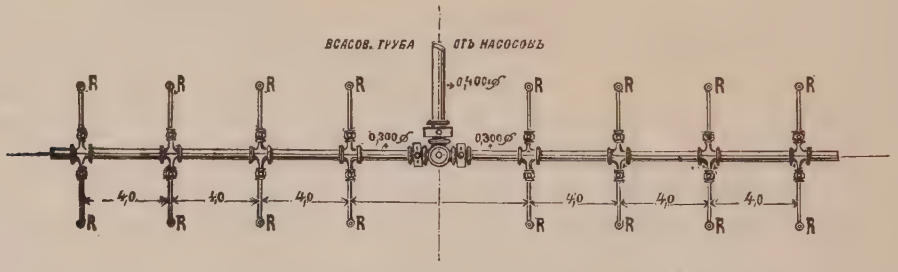
7. Вертикальные колодцы.

Между колодцами слѣдуетъ различать два главныхъ типа: колодцы съ проницаемыми стѣнками и колодцы съ непроницаемыми или частью только проницаемыми стѣнками. Колодцы перваго типа примѣняются въ тѣхъ случаяхъ, когда сборъ воды происходитъ изъ равномѣрно движущагося грунтоваго потока со свободнымъ уровнемъ воды, соприкасающимся съ воздухомъ, и съ однороднымъ водоноснымъ слоемъ, между тѣмъ какъ колодцы втораго типа примѣняются при артезіанскихъ потокахъ, или соотвѣтственно въ тѣхъ случаяхъ, когда свойства водоноснаго слоя въ вертикальномъ направленіи весьма существенно измѣняются. Другія различія въ конструкціи колодцевъ даютъ слѣдующее весьма цѣлесообразное подраздѣленіе колодцевъ на:

1. Абессинскіе колодцы (забивные, винтовые).
2. Трубчатые колодцы.
3. Каменные колодцы.
4. Артезіанскіе колодцы.

Горизонтальное сѣченіе каждаго изъ этихъ колодцевъ обыкновенно даетъ кольцевую поверхность стѣнки и площадь круга для воды, хотя это не слѣдуетъ считать непремѣннымъ условіемъ.

Общія расположенія. Производительность колодцевъ подробно была разсмотрѣна нами въ предыдущей главѣ. При большихъ расходахъ, вмѣсто одного колодца въ грунтовый потокъ (или бассейнъ) часто опускается нѣсколько колодцевъ обыкновенно такимъ образомъ, что каждый отдѣльный колодецъ только касается сферы дѣйствія другого сосѣдняго колодца. Впрочемъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ оказаться цѣлесообразнымъ сдвинуть колодцы ближе другъ къ другу такъ, чтобы воронки пониженія уровня всѣхъ колодцевъ не соприкасались другъ съ другомъ, а проникали бы другъ друга; подобное расположеніе, конечно, дастъ другую производительность, такъ какъ притокъ происходитъ не по всей окружности воронки каждаго отдѣльнаго колодца, а только по части окружности. Точно также видъ депрессіонной поверхности получится иной, нежели мы опредѣляли изъ вышеприведенныхъ нами соображеній.



Фиг. 148. Соединенные трубчатые колодцы Бруклинскаго водопровода.
Масштабъ: 1:300 натур. вел.

Данныя относительно производительности и вида депрессіонной поверхности подобныхъ рядомъ расположенныхъ колодцевъ приведены Форхгеймеромъ и дополнены Гольцмюллеромъ [1]). Обыкновенно вопросъ сводится къ устройству ряда колодцевъ въ грунтовомъ потокѣ такимъ образомъ, чтобы они могли замѣнить сквозной сборный каналъ, проведенный поперекъ направленія теченія потока, или же къ расположенію ихъ по кругу для достиженія дѣйствія, производимаго колодцемъ значительнаго діаметра.

Подобныя расположенія въ послѣднее время встрѣчаются весьма часто, преимущественно потому, что они значительно дешевле замѣняемыхъ ими глубокихъ сборныхъ каналовъ или колодцевъ значительнаго діаметра.

Сюда относится впервые примѣненный фирмой Andrews & Co. въ Нью-Іоркѣ (Бруклинѣ) способъ сбора воды изъ грунтоваго потока опредѣленной ширины помощью соединныхъ между собой трубчатыхъ колодцевъ, изображенный на прилагаемомъ чертежѣ (фиг. 148); подобные трубчатые колодцы получили названіе Бруклинскихъ.

Всасывающая труба насосной станціи выходитъ изъ распредѣлительной камеры, съ которою соединены два всасывающихъ трубопровода, питаемыхъ отдѣльными трубчатыми колодцами *R*. Каждый отдѣльный колодецъ, при исправленіи или чисткѣ, можетъ быть выключенъ изъ сѣти, такъ какъ на каждой идущей отъ колодца вѣтви трубы діам. 75 милиметр. предъ ея соединеніемъ со всасывающимъ трубопроводомъ діам. 300 милим. помѣщенъ створный кранъ.

[1]) „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“ 1887, т. 31, стр. 656.

Подобное же расположеніе мы видимъ въ новомъ водоснабженіи грунтовой водой города Франкфурта на Майнѣ; но тамъ трубопроводъ діам. 300 милиметр., расположенный въ Бруклинскомъ водопроводѣ на поверхности почвы, замѣненъ проходнымъ сборнымъ каналомъ, а трубчатые колодцы въ проницаемой части подпочвы снабжены не тканой обшивкой, а имѣютъ песчаную засыпку, играющую роль фильтра.

Подобное же устройство сбора воды мы видимъ въ новомъ Московскомъ водопроводѣ изъ Мытищенскихъ ключей. Пріемниками воды служатъ 50 трубчатыхъ колодцевъ, расположенныхъ по прямой линіи на длинѣ 300 саженей. Буровыя скважины для колодцевъ имѣютъ діам. по 5″ и глубину 14 саж. (опущены до юрской глины); въ эти скважины опущены фильтры діам. 4″ и глубиной 9 саженъ, соединенные непосредственно съ общей всасывающей трубой. Количество воды, которое можетъ быть выкачиваемо изъ колодцевъ, составляетъ около 2000000 ведеръ въ сутки. По срединѣ линіи водосборовъ устроено водоподъемное зданіе съ машинами и котлами.

Въ мѣстностяхъ съ неправильнымъ напластованіемъ, т. е. съ перемежающимися слоями хорошо проницаемыхъ хрящей, мелкихъ песковъ, глинъ и проч., какъ это часто встрѣчается въ практикѣ, подобными сооруженіями въ каждомъ данномъ мѣстѣ можно извлекать изъ подпочвы, значительно большее количество воды, нежели однимъ крупнымъ, проведеннымъ въ видѣ туннеля, каналомъ, который обыкновенно только въ одномъ мѣстѣ пересѣкаетъ водоносныя жилы. Само собой разумѣется, что для подобныхъ случаевъ невозможно привести какія-либо теоретическія соображенія; производительность сооруженія опредѣляется только путемъ опыта.

Фиг. 149. Схематическое изображеніе кольцеваго колодца.

Тимъ, при предварительныхъ работахъ по водоснабженію Лейпцига, впервые замѣнилъ колодецъ большого діаметра извѣстнымъ числомъ расположенныхъ по кругу трубчатыхъ колодцевъ. Примѣненное имъ устройство, въ схемѣ изображенное на фиг. 149, онъ назвалъ „кольцевымъ колодцемъ“ и описалъ его слѣдующимъ образомъ [1]): шахтные колодцы съ болѣе или менѣе высокимъ стояніемъ воды получаютъ весь притокъ преимущественно черезъ проницаемыя стѣнки; земляной сердечникъ внутри колодца можетъ тамъ оставаться, не вызывая замѣтнаго уменьшенія притока, такъ что можно довольствоваться устройствомъ только одного цилиндрическаго кольца на окружности колодца. Но послѣднее невыполнимо, по крайней мѣрѣ, имѣющимися въ практикѣ средствами; при этомъ, съ другой стороны, нѣтъ необходимости устраивать кольцо, непрерывное по всей своей окружности, а той же цѣли можно съ достаточнымъ приближеніемъ достигнуть отдѣльными кольцевыми сегментами, отдѣленными другъ отъ друга остающимися между ними и находящимися между собой только въ вертикальномъ сообщеніи массами земли. Подобный кольцевой сегментъ можетъ быть замѣненъ трубчатымъ колодцемъ; рядъ такихъ расположенныхъ по окружности круга колодцевъ долженъ замѣнять собой обыкновенный шахтный колодецъ по своему дѣйствію. Практика доказала правильность этой мысли.

Теоретическая часть этого устройства, въ предположеніи однороднаго водоноснаго слоя, выяснена Форхгеймеромъ [2]). На приложенномъ чертежѣ (фиг. 149) отдѣльные колодцы изображены маленькими кружками, а горизонтали уровня по Форхгеймеру изображены сомкнутыми линіями.

---

[1]) „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1885 г., т. 28, стр. 140.

[2]) Forchheimer, Ph., „Ueber die Ergiebigkeit von Brunnenanlagen und Sickerschlitzen“ Hannover. 1886.

Пробные колодцы. Колодцы имѣютъ весьма важное значеніе при предварительныхъ работахъ по изысканію грунтовыхъ водъ: получаемыя при дѣйствіи пробныхъ колодцевъ [1]) количества воды, по соображенію съ различными побочными обстоятельствами, служатъ рѣшающимъ моментомъ при выборѣ мѣста сооруженія водосборовъ. При этомъ необходимо принять во вниманіе слѣдующія соображенія.

Предыдущія теоретическія разсужденія о видѣ депрессіонныхъ поверхностей колодцевъ соотвѣтствуютъ дѣйствительности только при опредѣленномъ предположеніи относительно однородности сложенія водоноснаго слоя. Мы неоднократно указывали, что это сдѣланное нами предположеніе въ природѣ встрѣчается весьма рѣдко. Наблюденія обыкновенно показываютъ измѣненіе свойствъ матеріала водоноснаго слоя по всѣмъ направленіямъ, и вліяніе этого измѣненія болѣе или менѣе рѣзко обнаруживается уклоненіемъ вида депрессіонной поверхности. Такъ какъ основные принципы и предположенія, принятые нами въ основу при выводѣ формулъ, оказываются вполнѣ правильными, то отклоненія дѣйствительныхъ депрессіонныхъ поверхностей отъ теоретически полученныхъ даютъ намъ указанія на свойства подпочвы. Для полученія болѣе яснаго понятія обо всѣхъ этихъ условіяхъ необходимо примѣнять еще другіе способы оріентированія: буренія до непроницаемаго слоя, наблюденія надъ уровнемъ воды въ подпочвѣ и открытыхъ потокахъ, метеорологическія данныя и пр.

Обыкновенно отъ хорошаго водосборнаго сооруженія требуется, чтобы оно во всякое время было въ состояніи доставлять извѣстное наименьшее количество воды. Для увѣренности въ удовлетвореніи этому требованію прежде всего необходимо знать наинизшее стояніе грунтовыхъ водъ, къ которому и отнести всѣ произведенныя испытанія. Наинизшее стояніе грунтовыхъ водъ опредѣляется путемъ наблюденій надъ обыкновенными насосными колодцами, которые рѣдко опускаются глубже 1 до 2 метр. въ грунтовую воду, и между которыми постоянно находятся колодцы, невысыхающіе вътеченіе длинныхъ періодовъ времени; тѣ изъ этихъ колодцевъ, которые показываютъ наинизшее стояніе воды, наиболѣе всего удобны для численнаго опредѣленія общаго наинизшаго стоянія грунтовыхъ водъ. Послѣднее не всегда совпадаетъ съ наиболѣе сухимъ временемъ года; но, тѣмъ не менѣе, между атмосферными осадками и грунтовой водой существуетъ извѣстное соотвѣтствіе, преимущественно тамъ, гдѣ горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ неглубоко подъ поверхностью почвы, и гдѣ, слѣд., высыханіе происходитъ весьма быстро и по всему протяженію поверхности грунтоваго горизонта. Орошеніе, дренажи, рѣки, плотины и проч. при своей работѣ могутъ вызвать значительныя измѣненія въ состояніи грунтоваго потока. Само собой разумѣется, что для полученія путемъ наблюдательныхъ колодцевъ правильныхъ заключеній слѣдуетъ окружить область дѣйствія водосборнаго сооруженія пробными колодцами съ трехъ сторонъ.

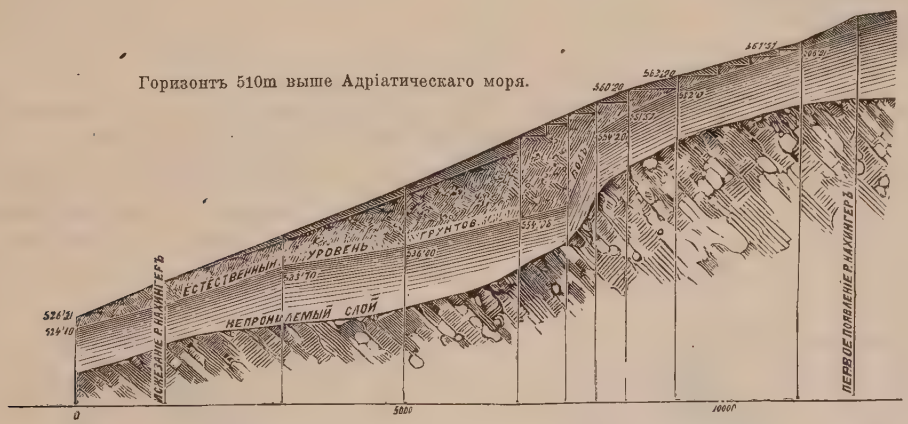
Въ предыдущей главѣ помощью ур. 12) мы доказали, что при извѣстномъ расходѣ воды изъ колодца осушается извѣстная ширина грунтоваго потока, или въ случаѣ отсутствія потока—извѣстная область инфильтрацій; при однородныхъ свойствахъ водоноснаго слоя выборъ большей или меньшей величины расхода не вліяетъ на испытаніе. Въ этихъ случаяхъ, ради экономическихъ цѣлей, посто-

[1]) Механическія приспособленія для этого дѣйствія — временныя насосныя станціи — описаны нами ниже (см. отд. III). Обыкновенно для этой цѣли примѣняютъ центробѣжные насосы, работающіе отъ локомобилей.

янно выбираютъ для испытаній небольшіе колодцы, такъ какъ гораздо дороже добывать 50 литр. въ секунду изъ ширины потока въ 1 километръ, нежели литр. въ секунду изъ ширины потока въ 100 метр.; между тѣмъ опредѣленіе состоянія потока (или инфильтраціонной области) оказывается одинаково возможнымъ какъ тѣмъ, такъ и другимъ испытаніемъ.

Относительно продолжительности подобной откачки и вліянія ея, въ смыслѣ постепенной депрессіи грунтовыхъ водъ, на заключенія, которыя должны быть сдѣланы при безпрерывномъ пониженіи горизонта, необходимыя соображенія приведены нами въ предыдущей главѣ.

При устройствѣ пробныхъ колодцевъ инженеръ не всегда независимъ отъ лица, поручившаго ему эту работу; поэтому не слѣдуетъ удивляться множеству различныхъ способовъ, примѣняемыхъ для указанія возможности полученія достаточныхъ количествъ воды. Иногда недовѣріе къ такъ называемымъ теоретическимъ выводамъ въ этой области вынуждаетъ прибѣгать къ устройствамъ, далеко не раціональнымъ въ техническомъ отношеніи.



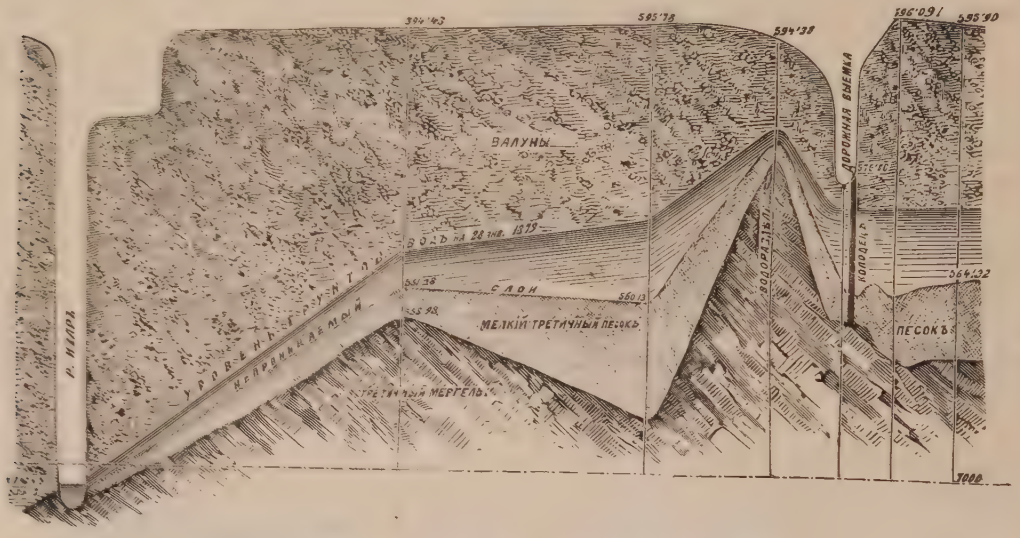
Фиг. 150. Продольная профиль грунтоваго потока параллельно р. Гахингеръ. Масштабъ длины 1:120000, высоты 1;1200.

Изученіе выполненныхъ и научно примѣненныхъ пробныхъ колодцевъ несомнѣнно окажетъ громадную услугу всякому занимающемуся этимъ вопросомъ, создавшимъ себѣ весьма обширную литературу. Недостатокъ мѣста не даетъ намъ возможности привести здѣсь много интересныхъ случаевъ этого рода, указанныхъ Тимомъ въ его многочисленныхъ статьяхъ; изъ нихъ мы здѣсь приведемъ одинъ весьма поучительный примѣръ Мюнхенскаго пробнаго колодца при Дейзенгофенѣ [1]).

Плоскогорье, прорѣзанное желѣзной дорогой Мюнхенъ-Гольцкирхенъ, пересѣкается весьма мощнымъ грунтовымъ потокомъ, которымъ Тимъ имѣлъ въ виду воспользоваться для водоснабженія Мюнхена. Присутствіе въ этомъ мѣстѣ грунтоваго потока было констатировано нивеллировочными съемками; въ продольномъ направленіи потока, приблизительно по направленію ручья Гахингеръ, выступающаго подъ Дейзенгофеномъ, стояніе воды было опредѣлено соотвѣтственно показанному на фиг. 150. Грунтовый потокъ на своемъ протяженіи въ 13 километр. отъ Дейзенгофена до Берга на Лаймѣ имѣетъ паденіе въ 50 метр. На 500 метр. выше Дейзенгофена (къ югу) былъ заложенъ пробный колодецъ, производительность котораго должна была служить исходной точкой для опредѣленія имѣющагося въ распоряже-

[1]) Thiem. Der Versuchsbrunnen für die Wasserversorgung der Stadt München. „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1880, т. 23, стр. 156 и 596.

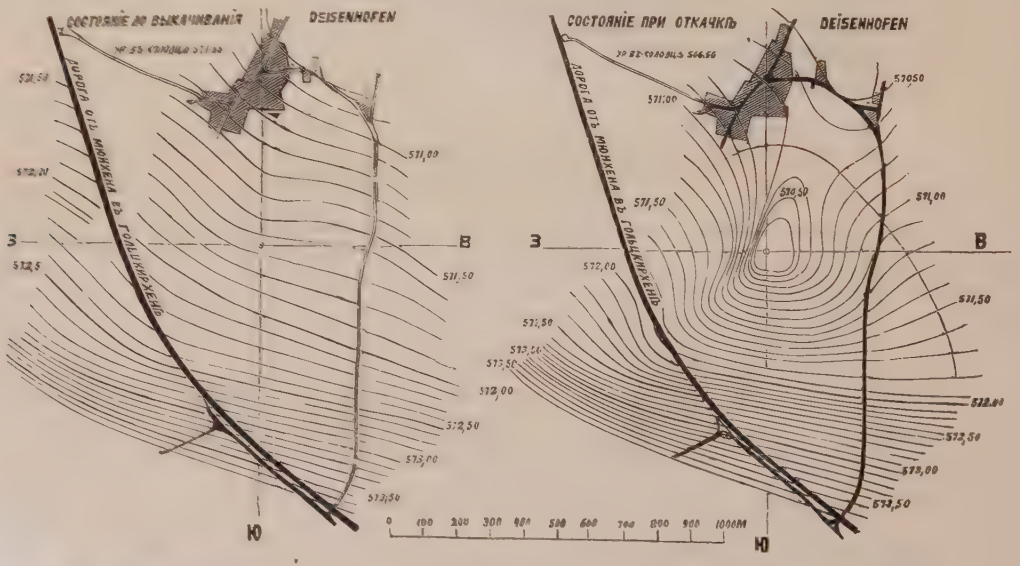
нія количества воды и ея качествъ. Этотъ колодецъ лежитъ на 800 метр. выше (къ югу) перваго ключа ручья Гахингеръ, и проведенная отъ него къ востоку и западу профиль показываетъ условія, изображенныя на фиг. 151. Изъ этой профили видно, что слой глинистаго сферосидерита къ западу отъ колодца приблизительно на разстояніи отъ него въ 600 метр.



Горизонтъ 540m выше нуля Адріатическаго моря.

Фиг. 151. Поперечная профиль черезъ пробный колодецъ по направленію съ востока на западъ
Масштабъ длины 1:60000; высота 1:900.

образуетъ подземный водораздѣлъ съ хребтомъ, вѣроятно идущимъ по сѣверо-западному направленію къ Дейзенгофену, а по юго-восточному направленію—къ долинѣ Глейзенъ, и имѣющимъ сильное паденіе къ Изару. Этотъ хребетъ отдѣляетъ западный горизонтъ грунтовыхъ водъ отъ восточнаго, т. е. ограничиваетъ теченіе воды къ западу.



Фиг. 152. Горизонтали грунтовыхъ водъ вокругъ Дейзенгофскаго колодца.

Такимъ образомъ устроенный въ долинѣ Глейзенъ колодецъ находится на лѣвомъ берегу грунтоваго потока плоскогорія; онъ имѣетъ круглое сѣченіе при наружномъ діаметрѣ въ 4 метр. и толщинѣ стѣнъ въ 0,6 метр., и установленъ на желѣзномъ кольцѣ. Кладка стѣнъ колодца произведена на цементномъ растворѣ и во многихъ мѣстахъ снабжена расположен-

ными по радіальному направленію желѣзными трубками, такъ что въ общемъ стѣнки колодца можно считать проницаемыми. На фиг. 152 изображены виды поверхности грунтовыхъ водъ до откачки воды и послѣ нея, т. е. приблизительное состояніе неизмѣняемости при расходѣ 190 литр. въ секунду, продолжавшемся 27 дней при пониженіи уровня на 5 метровъ.

Граница сбора воды колодцемъ расположилась на востокѣ по изображенной пунктиромъ линіи; вся же вода, протекающая между колодцемъ и западнымъ берегомъ грунтоваго потока, само собой разумѣется, извлекалась при всякой депрессіи уровня воды въ колодцѣ. Тимъ вычислилъ пониженія уровня теоретически (по формулѣ 20 предыдущей главы) и при сравненіи съ полученными при пробной откачкѣ количествами нашелъ, что вычисленія вполнѣ согласуются съ опытомъ. На основаніи своихъ работъ онъ пришелъ къ тому заключенію, что заимствованіемъ изъ существующаго грунтоваго потока въ восточномъ направленіи при протяженіи водосбора въ 2250 метр., даже при наинизшемъ стояніи воды, можетъ быть получено большее количество воды, нежели требуется для водоснабженія Мюнхена. Изъ фиг. 152 ясно видно, что съ восточной стороны колодца депрессіонная поверхность близко согласуется съ теоретической (см. фиг. 134).

Такъ какъ при опытахъ могла получиться разница въ зависимости отъ того, находится ли естественный ненарушенный уровень въ періодѣ повышенія или пониженія, то одновременность откачкой должны производиться тщательныя наблюденія надъ стояніемъ воды въ сборной области, находящейся внѣ сферы вліянія пробнаго колодца.

Вліяніе открытыхъ водоемовъ. Если колодцы сооружаются вблизи открытыхъ водяныхъ потоковъ, то почти безъ исключенія — завѣдомо или неожиданно—послѣдніе оказываютъ вліяніе на питаніе колодцевъ, что обнаруживается различными обстоятельствами: разностью температуръ, химическими качествами и, наконецъ, свойствами рѣчного русла и сообщеніемъ ихъ водоносному слою. Вліяніе открытаго водяного потока на горизонтъ изливающагося въ него грунтоваго потока разсмотрѣно нами выше (см. отд. I, гл. 7); точно также былъ нами разсмотрѣнъ притокъ рѣчной воды при расходѣ (см. отд. I, гл. 11).

Если русло открыто текущаго потока не вполнѣ непроницаемо, то рѣчная вода притекаетъ въ сосѣдній съ рѣкой колодецъ, если только уровень въ послѣднемъ опускается ниже уровня воды открытаго потока. Вполнѣ непроницаемое водяное русло встрѣчается весьма рѣдко; оно никогда не встрѣчается во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда можно констатировать направляющійся съ берега къ рѣкѣ грунтовый потокъ, вода котораго не изливается въ открытый потокъ въ видѣ ключей.

Въ этомъ случаѣ вліяніе открытаго водоема весьма легко узнать, опредѣляя воронку пониженія помощью буреній между открытымъ водоемомъ и колодцемъ. Если, напр., депрессіонная поверхность имѣетъ видъ, подобный изображенному на фиг. 153 и полученному при наблюденіяхъ надъ расположеннымъ вблизи Шпре (въ Берлинѣ) колодцемъ въ теченіе времени отъ Іюня до Декабря 1882 года, то, безъ сомнѣнія, вся притекающая изъ суши и находящаяся въ сферѣ дѣйствія колодца грунтовая вода и часть рѣчной воды идутъ на питаніе колодца. Въ предѣлахъ сферы дѣйствія этого колодца изъ него вода не можетъ поступать въ рѣку.

Если уровень воды въ продолженіе періода расхода остается постоянно одинаковымъ съ уровнемъ рѣчной воды, то, вслѣдствіе недостатка соотвѣтствующаго паденія, вода изъ рѣки не можетъ поступать въ колодецъ, но въ то же время она и не можетъ поступать обратно изъ колодца въ рѣку. Первое изъ этихъ условій имѣетъ мѣсто и при всякомъ болѣе возвышенномъ положеніи уровня колодца b; вода же изъ грунтоваго потока въ этомъ случаѣ, наоборотъ, поступаетъ въ рѣку.

По одной только воронкѣ пониженія, при обыкновенно неоднородномъ строеніи водоноснаго слоя вблизи рѣки, весьма трудно опредѣлить количественныя соотношенія притока (преимущественно при встрѣчаемыхъ иногда легко проницаемыхъ и свободно вымываемыхъ водой хрящеватыхъ прослойкахъ). Для этой цѣли можетъ быть примѣненъ слѣдующій способъ.

Пусть t_1 будетъ температура воды изъ водоноснаго слоя. q_1 — соотвѣтственное количество воды, t_2— температура доставляемой рѣкой воды въ количествѣ q_2. Если изъ колодца заимствуется количество воды Q, температура которой T, то должны существовать условія:

$$q_1 + q_2 = Q;\ \frac{q_1 t_1}{t_1} + q_2 t_2 = QT,$$

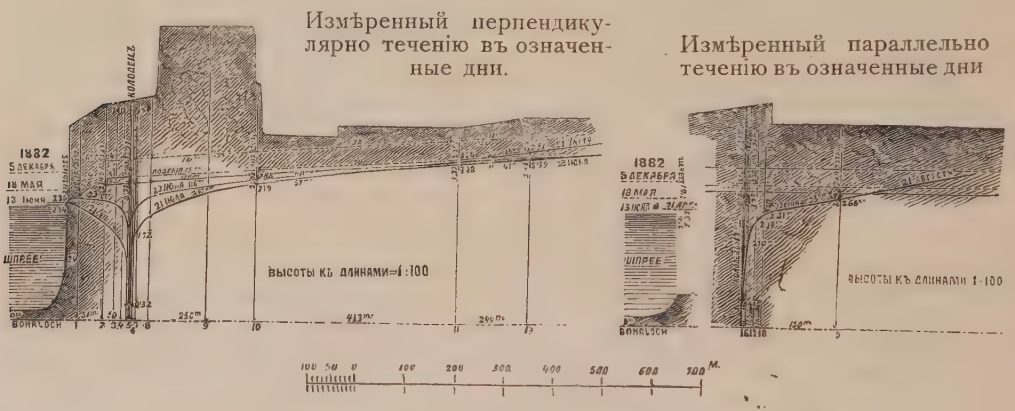
откуда слѣдуетъ:

$$q_1 = Q\,\frac{T - t_2}{t_1 - t_2};\ q_2 = Q\,\frac{T - t_1}{t_2 - t_2}.$$

Такъ, напр., при $t_1 = 10°$, $t_2 = 16°$, $T = 12°$ грунтовый потокъ доставляетъ $^2/_3$, а рѣка $^1/_3$ всего количества заимствуемой воды, и т. д.

Вліяніе рѣкъ на расположенные вблизи нихъ колодцы констатировано также химическими анализами; въ колодезной водѣ находятъ правильныя колебанія содержанія химическихъ примѣсей, которыя несомнѣнно указываютъ на большій или меньшій притокъ со стороны открытаго водоема [1]).

Уровень грунтовыхъ водъ у р. Шпрее въ Берлинѣ.


Измѣренный перпендикулярно теченію въ означенные дни.
Измѣренный параллельно теченію въ означенные дни
1882
5 ДЕКАБРЯ
18 МАЯ
ШПРЕЕ
ВЫСОТЫ КЪ ДЛИНАМИ=1:100
ВЫСОТЫ КЪ ДЛИНАМИ 1:100
100 50 0 100 200 300 400 500 600 700 M.

Фиг. 153. Зависимость между рѣчной и грунтовой водой.

Совокупное дѣйствіе обоихъ факторовъ: рѣчной воды и воды грунтовыхъ потоковъ на питаніе находящихся вблизи рѣки колодцевъ и сборныхъ галлерей объяснялось въ продолженіе долгаго времени различнымъ образомъ. Прежде строили сооруженія спеціально съ цѣлью полученія рѣчной воды путемъ естественной фильтраціи. Первымъ подобнымъ сооруженіемъ была фильтраціонная галлерея города Тулузы, построенная д'Обюиссономъ въ 1825—1828 г.; строитель былъ пораженъ тѣмъ фактомъ, что галлерея доставляла болѣе свѣжую воду, нежели доставляла сама рѣка Гарона. Этотъ примѣръ нашелъ себѣ множество подражаній, изъ коихъ укажемъ здѣсь на водоснабженіе Ліона (изъ Роны), Анжера (изъ Луары), Невера (изъ Луары), Фонтенебло (изъ Сены), Перта (изъ Те), Ноттингама (изъ Трента), Магдебурга (изъ Эльбы), Вѣны (изъ Дуная — водопроводъ Императора Фердинанда). Послѣдовательныя наблюденія все съ большей и большей несомнѣнностью доказывали, что лучшая часть доставляемой подобными сооруженіями воды происходила не изъ рѣки, и что поры естественнаго фильтра со стороны рѣки постепенно засаривались вслѣдствіе постоянно увеличивающагося притока. Этимъ обстоятельствомъ прежде всего выяснилось участіе грунтовыхъ потоковъ въ питаніи подобныхъ сооруженій. Хотя и теперь продолжаютъ еще строить подобныя водосборныя сооруженія у рѣкъ, но въ настоящее время выяснилось, наоборотъ, что подобными сооруженіями добывается не фильтрованная естественнымъ путемъ рѣчная вода, но исключительно только грунтовая вода. Водоснабженія Дрездена (изъ Эльбы), Кёльна (изъ Рейна), Берлина (изъ Тегельскаго озера) и т. д. устроены именно подобнымъ путемъ и вполнѣ оправдали это заключеніе. Въ настоящее время не подлежитъ никакому сомнѣнію, что получаемая изъ подобныхъ сооруженій вода временами доставляется сообща открытыми и грунтовыми потоками. Засореніе естественнаго фильтра происходитъ не во всѣхъ случаяхъ. Если расходъ воды не вызываетъ черезмѣрной депрессіи, то муть изъ рѣчной воды не поступаетъ въ водоносный слой, а отлагается въ

[1]) „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1882, т. 25, стр. 50.

руслѣ рѣки, какъ при искусственномъ фильтрованіи. Эти отложенія удаляются правильно повторяющимися половодіями, такъ что пригодность береговъ для естественной фильтраціи сохраняется на весьма долгое время. Если, наоборотъ, подобное сооруженіе дѣйствуетъ чрезмѣрно напряженно, то мутная вода изъ рѣки глубоко проникаетъ въ подпочву, и тогда засореніе естественнаго фильтра оказывается неизбѣжнымъ. Это послѣднее обстоятельство необходимо должно быть предупреждено, и поэтому при проектированіи подобныхъ сооруженій разсчетъ долженъ быть произведенъ въ предположеніи умѣреннаго пониженія уровня; кромѣ того эти сооруженія не должны быть расположены слишкомъ близко къ рѣчному берегу.

Отдѣльные водоносные слои (этажные). Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ обратить вниманіе, что при неоднородныхъ свойствахъ водоноснаго пласта помощью одного и того же колодца можно получать воду изъ совершенно различныхъ слоевъ. Если водоносный слой изрѣзанъ непроницаемыми слоями, то послѣдніе раздѣляютъ его на различныя отдѣленія, которымъ Тимъ присвоилъ названіе „водяныхъ этажей“, и въ которыхъ развиваются болѣе или менѣе обширные потоки. Качества воды изъ различныхъ водяныхъ этажей могутъ быть различны.

Если имѣетъ мѣсто случай, изображенный на фиг. 147 и разсмотрѣнный нами выше, то получается такъ называемый артезіанскій потокъ одновременно съ грунтовымъ потокомъ, горизонтъ котораго соприкасается съ наружнымъ воздухомъ. Число этажей ничѣмъ не ограничено, при чемъ, какъ мы замѣтили выше, мелкіе пѣски и т. под. слои вызываютъ тѣ же явленія, что и вполнѣ непроницаемые слои. Это обстоятельство необходимо принять во вниманіе при опредѣленіи численныхъ значеній результатовъ, полученныхъ путемъ испытаній надъ колодцами. Если колодецъ одновременно питается нѣсколькими подобными водяными этажами, то неизвѣстно, остается ли предѣлъ заимствованія для одного изъ нихъ одинаковымъ, какъ и для другихъ. Для рѣшенія этого вопроса необходимо опредѣлить кривыя пониженія горизонта, характеризующія движеніе въ предѣлахъ отдѣльныхъ этажей, что обыкновенно требуетъ значительнаго числа буреній, которыя, тѣмъ не менѣе, рѣдко ведутъ къ безусловно вѣрнымъ заключеніямъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ весьма цѣлесообразно облегчить теченіе грунтовыхъ водъ по направленію къ колодцу. Это имѣетъ мѣсто преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда, напр., колодецъ опускается въ какую-либо твердую породу (какъ пестрый песчаникъ, вообще песчаникъ и т. под.). Для этой цѣли подъ нижнимъ концомъ колодца (трубчатаго колодца) подкладываютъ динамитную торпеду, помощью которой раздробляютъ породу. Подобнымъ способомъ во многихъ мѣстахъ, преимущественно въ Америкѣ, удалось въ значительной степени усилить производительность колодцевъ. Самъ по себѣ этотъ процессъ представляетъ собой ничто иное, какъ уничтоженіе естественнаго раздѣленія грунтоваго потока на различныя отдѣленія, которое, впрочемъ, можетъ быть достигнуто и другими путями, какъ, напр., пробуреніемъ раздѣляющихъ непроницаемыхъ пластовъ и послѣдовательнымъ затѣмъ вытаскиваніемъ обсадной трубы, и т. под.

Качества доставляемой колодцами воды. Ввиду упомянутыхъ различій свойствъ водоноснаго слоя нетрудно видѣть, что при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ различные водоносные этажи могутъ доставлять воду различныхъ качествъ. Внѣшнія загрязненія почвы въ окрестностяхъ колодцевъ съ проницаемыми стѣнками, опущенныхъ въ однородные водоносные слои, могутъ быть весьма вредны въ гигіеническомъ отношеніи, преимущественно въ томъ

случаѣ, когда горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ близко отъ поверхности почвы. Болѣе или менѣе значительная глубина колодца и внѣшнія его качества въ данномъ случаѣ не имѣютъ никакого значенія, такъ какъ загрязненная вода можетъ проникать въ колодецъ даже при весьма большой глубинѣ его. Если же, наоборотъ, начиная съ поверхности почвы, непроницаемые слои расположены между проницаемыми, то первые не допустятъ къ колодцу загрязненной воды въ томъ случаѣ, когда колодецъ въ верхней своей части снабженъ непроницаемыми стѣнками. Затѣмъ считаемъ нелишнимъ здѣсь замѣтить, что существующее общепринятое предположеніе, что съ увеличеніемъ глубины подпочвенныя воды бываютъ чище и болѣе пригодны для водоснабженія, въ этомъ общемъ выраженіи оказывается вообще неправильнымъ, такъ какъ весьма часто имѣетъ мѣсто обратное явленіе. Во многихъ случаяхъ добываемыя изъ значительной глубины грунтовыя воды имѣютъ запахъ сѣрнистаго водорода, обильное содержаніе солей, желѣза и проч., а иногда также и слишкомъ высокую температуру. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти весьма неудобныя примѣси исчезаютъ послѣ нѣкотораго болѣе или менѣе продолжительнаго дѣйствія колодца; во многихъ же случаяхъ, наоборотъ, первоначально чистая вода по истеченіи нѣкотораго времени дѣйствія колодца измѣняется къ худшему, такъ какъ депрессія въ водоносномъ слоѣ образуетъ такія теченія, которыя не могли образоваться до нарушенія равновѣсія.

Само собой разумѣется, что вѣроятность полученія дурной воды изъ колодцевъ, расположенныхъ среди большихъ селеній, возлѣ мусорныхъ ямъ, подъ обильно удобренными полями и проч., гораздо больше, нежели изъ колодцевъ, расположенныхъ въ мѣстностяхъ съ незагрязненной почвой [1]). Но, тѣмъ не менѣе, весьма неправильно будетъ утвердительно сказать, что въ послѣднемъ случаѣ безусловно будетъ получаться годная, а въ первомъ случаѣ безусловно дурная вода; рѣшающее значеніе здѣсь имѣетъ послѣдовательность напластованія. Само собой разумѣется, что при сооруженіи колодцевъ, путемъ соотвѣтственной ихъ конструкціи, а иногда также и путемъ требуемыхъ особыхъ техническихъ пріемовъ работы надъ поверхностью почвы, слѣдуетъ по возможности удалять отъ нихъ грязныя воды.

Затѣмъ необходимо принять во вниманіе, что на качества добываемой изъ подпочвы воды вліяютъ также и естественныя колебанія уровня подпочвеннаго потока. Съ тѣхъ поръ, какъ въ историческія времена стали точно наблюдать за появленіемъ эпидемическихъ болѣзней, обнаружилась связь между стояніемъ грунтовыхъ водъ и смертностью среди населенія: высокій горизонтъ грунтовыхъ водъ предвѣщаетъ здоровое время, а низкій — время болѣзней. Причина этому кроется въ недостаточно выясненныхъ до настоящаго времени біологическихъ процессахъ въ подпочвѣ, образующихъ благопріятныя предварительныя условія для появленія тифозныхъ заболѣваній. Время болѣзней послѣ періодовъ низкаго стоянія грунтовыхъ водъ большей частью начинается съ первыхъ инфильтрацій въ почву, происходящихъ послѣ продолжительной засухи, при чемъ развивающіеся въ подпочвѣ вредные зародыши поступаютъ въ воду, и — что еще гораздо важнѣе — пропитанный болѣзнетворными веществами подпочвенный воздухъ при этомъ подымается вверхъ. Считаемъ нелишнимъ

---

[1]) Hueppe. Ueber die Wasserversorgung durch Brunnen und ihre hygienische Beurtheilung. „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1889, т. 32, стр. 15.

здѣсь упомянуть еще разъ, что въ этомъ отношеніи нѣтъ никакой разницы между грунтовой водой и ключевой, различающимися между собой исключительно только по виду своего появленія на дневную поверхность.

Искусственныя пониженія должны въ этомъ отношеніи имѣть такое же вліяніе, какъ и естественныя. Отсюда становится весьма яснымъ, что значительные расходы изъ сравнительно мало мощнаго грунтоваго потока, имѣющіе своимъ послѣдствіемъ замѣтное колебаніе грунтоваго горизонта, будутъ менѣе благопріятны въ санитарномъ отношеніи. нежели расходы изъ обильныхъ потоковъ, отдающихъ только весьма малую часть всего количества протекающей по нимъ воды.

Абессинскіе колодцы. Во время похода англичанъ въ Абессинію въ 1867—1868 гг. для полученія грунтовыхъ водъ съ большимъ успѣхомъ примѣнялась американская [1]) система колодцевъ (Нортоновскіе трубчатые колодцы), которая съ тѣхъ поръ извѣстна подъ названіемъ Абессинскихъ колодцевъ и нашла себѣ обширное практическое примѣненіе. Эта система колодцевъ отличается отъ другихъ тѣмъ, что при помощи этихъ колодцевъ можно очень быстро достигнуть грунтовыхъ водъ и углубиться въ водоносный слой при весьма небольшой стоимости сооруженія; преимущественно эта система колодцевъ весьма удобна при добываніи воды для временныхъ цѣлей и при наблюденіяхъ за теченіями грунтовыхъ водъ, т. е. при предварительныхъ работахъ для сооруженія крупныхъ водосборовъ.

Желѣзная труба обыкновенно діам. отъ 25 до 60 милим. снабжается стальнымъ наконечникомъ и забивается въ почву помощью подъемной бабы. Выше наконечника труба на нѣкоторой длинѣ просверлена или снабжена щелями; когда наконечникъ прошелъ соотвѣтственную часть водоноснаго слоя, то черезъ эти отверстія или щели грунтовая вода поступаетъ въ трубу. Вмѣсто забиванія этого колодца въ нѣкоторыхъ случаяхъ примѣняется завинчиваніе его въ почву; въ послѣднемъ случаѣ вмѣсто остраго наконечника на нижнемъ концѣ трубы закрѣпляется винтовой наконечникъ, завинчиваемый въ почву помощью закрѣпляемаго на произвольномъ мѣстѣ верхней части трубы двойного рычажнаго хомута.

На фиг. 154 изображенъ нормальный абессинскій колодецъ со стальнымъ острымъ наконечникомъ и насосомъ. Для этой цѣли обыкновенно употребляются желѣзныя гальванизированныя трубы, соединяемыя между собой помощью соотвѣтственныхъ муфтъ. Строительная длина отдѣльныхъ трубъ бываетъ 0,75, 1,50, 2,25, 3,00 и 4,5 метр.; эти трубы изготовлены нѣсколько прочнѣе обыкновенныхъ гальванизированныхъ желѣзныхъ водопроводныхъ трубъ.

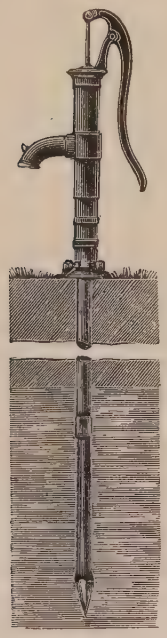
Трудность или легкость опусканія колодца зависитъ отъ свойствъ водоноснаго слоя, т. е. отъ слоя почвы, проходимаго колодезной трубой; точно также свойствами водоноснаго грунта обусловливается потребность въ обтягиваніи просверленной части трубы сѣтчатой тканью. Послѣднее оказывается необходимымъ при мелко-песчаномъ водоносномъ слоѣ; при хрящеватомъ же водоносномъ грунтѣ никакой надобности въ подобной сѣткѣ нѣтъ. Содержаніе въ почвѣ крупныхъ камней сильно препятствуетъ быстрому и правильному опусканію трубы въ грунтъ. Если стальной наконечникъ встрѣчаетъ подобный камень, то расположенная надъ нимъ труба искривляется, и большей частью оказывается необходимымъ вытащить назадъ весь колодецъ, послѣ чего слѣдуетъ опустить колодецъ въ другомъ мѣстѣ. Легче всего колодезныя трубы проникаютъ въ мелко-песчаную, глинистую и хрящеватую почвы.

---

[1]) Въ Америкѣ эта система колодцевъ примѣнялась уже во время междуусобной войны 1861—1865 гг.

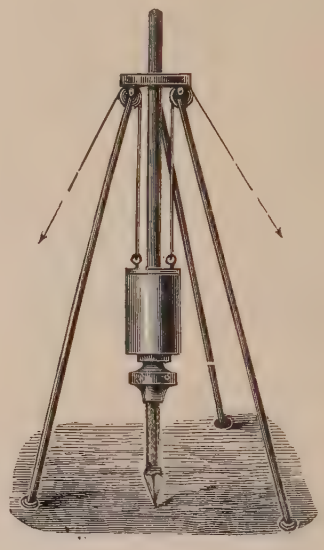
Насосъ при подобномъ колодцѣ всасываетъ изъ глубины до 9 метр. Для устраненія разрыва водянаго столба во всасывающей трубѣ, нижняя ея часть обыкновенно снабжается коробкой съ шаровымъ клапаномъ, какъ показано на фиг. 155.

На фиг. 155 первые 2 рисунка изображаютъ соотвѣтственно остроконечный и винтовой наконечники трубъ, не обтянутые сѣткой. При употребленіи этихъ трубъ въ крупно-хрящеватомъ матеріалѣ послѣ первой откачки колодца, которая сопровождается вымываніемъ большого количества песку, вокругъ мѣста всасыванія образуется полость, и колодецъ доставляетъ обильное количество чистой воды. Оба рисунка съ правой стороны фиг. 155 изо-



Фиг. 154. Абессинскій колодецъ.
Масштабъ 1:30 н. в.

Фиг. 155. Наконечники для трубчатыхъ Абесс. колодцевъ.
Масштабъ 1:10 н. в.



Фиг. 156. Коперъ для забиванія абессинскимъ колодцевъ.
Масштабъ 1:30 нат. вел.

бражаютъ соотвѣтственно остроконечный и винтовой наконечники трубъ, выше которыхъ просверленная (или снабженная щелями) труба покрыта сѣтчатой тканью для предупрежденія проникания въ трубу мелкаго песку. Подобные наконечники обыкновенно употребляются въ наносныхъ пескахъ или въ почвѣ, смѣшанной съ наносными песками; вслѣдствіе постепеннаго засоренія ткани эти наконечники съ трубами время отъ времени должны вытягиваться для прочистки.

Фиг. 157. Двойной рычажный хомутъ для абессинскихъ колодцевъ.
Масштабъ 1:30 нат. в.

Приспособленія, требуемыя для забиванія трубъ (копры) состоятъ изъ треноги, тяжелой бабы и желѣзнаго хомута, снабженнаго деревянными вкладышами и закрѣпляемаго на трубѣ помощью винтовъ. Весь приборъ изображенъ на фиг. 156. Направляемые по 2-мъ блочкамъ канаты служатъ для подъема бабы, которая при своемъ паденіи забиваетъ трубу. Необходимо тщательно наблюдать за тѣмъ, чтобы труба при загонкѣ сохраняла бы строго вертикальное положеніе.

Ввинчиваніе колодезныхъ трубъ производится помощью изображеннаго на фиг. 157 двойного рычажнаго хомута. Этотъ хомутъ закрѣпляется на трубѣ помощью шпонки и можетъ быть ослабленъ и передвинутъ на любое мѣсто трубы. При производствѣ этой, вообще весьма простой, работы ввинчиванія трубы въ почву необходимо тщательно

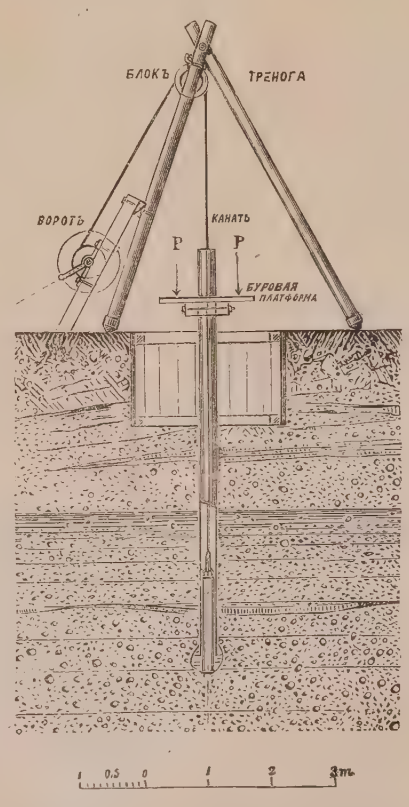
наблюдать за строго вертикальнымъ положеніемъ трубы, которое достигается правильнымъ направленіемъ ея во время завинчиванія.

Очень часто встрѣчаются абессинскіе колодцы съ трубами діам. болѣе 60 миллиметровъ; но работа по опусканію трубъ въ этихъ случаяхъ чрезвычайно затрудняется, при чемъ желаемая цѣль соотвѣтственнаго увеличенія производительности обыкновенно не достигается, такъ какъ, согласно вышеприведенныхъ теоретическихъ соображеній (см. гл. 6), при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, діаметръ колодца имѣетъ весьма небольшое вліяніе на количество доставляемой имъ воды. Само собой разумѣется, что колодезная труба можетъ быть сдѣлана проницаемой не только въ нижней своей части, но и во всякомъ другомъ мѣстѣ, т. е. высота водопроницаемой части трубы можетъ быть сдѣлана соотвѣтствующей различнымъ проходимымъ ею слоямъ почвы.

Трубчатые колодцы. Забиваніе или завинчиваніе колодезныхъ трубъ въ почву дѣлается невозможнымъ, если въ послѣдней встрѣчаются твердые и каменистые слои, напр. конгломераты, скалы, мощные слои твердыхъ глинъ, глыбы твердыхъ породъ и проч.; въ подобныхъ случаяхъ трубы искривляются и отклоняются въ сторону. Если погружаемая труба имѣетъ діам. больше 100 миллиметровъ, то она даже въ слабую песчаную или хрящеватую почву не можетъ быть опущена на болѣе или менѣе значительную глубину. Въ подобныхъ случаяхъ водоносные слои на значительныхъ глубинахъ достигаются опусканіемъ трубчатаго колодца путемъ буренія или промывки водой.

Предѣлы нашей книги не дозволяютъ намъ подробно останавливаться на множествѣ различныхъ способовъ производства работъ по буренію скважинъ, и, отсылая интересующихся къ различнымъ спеціальнымъ руководствамъ по этому предмету [1]), мы здѣсь вкратцѣ укажемъ на наиболѣе часто примѣняемый способъ погруженія желѣзныхъ (обсадныхъ) трубъ въ хрящеватую и песчаную почву. Ниже при разсмотрѣніи артезіанскихъ колодцевъ приведемъ простѣйшій способъ буренія въ скалистыхъ слояхъ.

Для опусканія обсадной трубы въ хрящеватый грунтъ употребляется канатный бурильный приборъ и буровая ложка (желонка), изображенная ниже на фиг. 168. На двухъ подкосахъ треноги укрѣпляется канатный блокъ, и къ перекинутому черезъ этотъ блокъ канату подвѣшивается желонка. Когда желонка при своемъ паденіи достигаетъ грунта, то клапанъ внизу ея открывается, и во внутрь желонки проникаютъ песокъ и хрящъ; при поднятіи желонки клапанъ закрывается и опять открывается при слѣдующемъ паденіи желонки, и т. д., пока вся желонка заполняется пескомъ или хрящемъ. При этомъ у нижняго конца обсадной трубы образуется свободная отъ песку и заполненная водой полость. Желонка затѣмъ вытаскивается помощью ворота и опоражнивается отъ содержащагося въ ней песку. Этотъ процессъ затѣмъ повторяется снова и продолжается до тѣхъ поръ, пока у нижняго конца трубы образуется надлежащей величины пустое пространство. Тогда нѣсколько рабочихъ становятся на изображенную на фиг. 158 искусственно при этомъ нагружаемую гру-



Фиг. 158. Приспособленіе для буренія колодцевъ въ хрящеватой и песчаной почвѣ.

[1]) Напр., Tecklenburg Th. Handbuch der Tiefbohrkunde. 1886.

зами *p*, *p*, платформу, закрѣпленную на обсадной трубѣ помощью хомута или сжима; затѣмъ трубу забиваютъ ручной бабой соотвѣтственной величины до тѣхъ поръ, пока она опускается. Далѣе опять начинается вычерпываніе желонкой, и т. д., и т. д. Ежедневная величина погруженія трубы обусловливается свойствами грунта, и для аллювіальныхъ слоевъ составляетъ отъ 2 до 5 метр. Если подпочва состоитъ изъ наноснаго песку (рѣчного песку), то необходимо тщательно наблюдать затѣмъ, чтобы буровая труба была наполнена водой до высоты приблизительно на 1 метръ выше естественнаго уровня грунтовой воды съ той цѣлью, чтобы предупредить засасываніе песку при подыманіи желонки.

Весьма простой способъ опусканія обсадныхъ трубъ состоитъ въ примѣненіи промывки водой. Накачиваемая въ сплошную обсадную трубу подъ большимъ давленіемъ вода вымываетъ почву изъ глубины скважины и подымается вверхъ снаружи стѣнокъ обсадной трубы, вынося съ собой буровую муку или илъ; при этомъ обсадная труба опускается путемъ нагрузки. Этотъ способъ оказывается особенно пригоднымъ тогда, когда работа производится безъ перерывовъ; производительность этого способа работы весьма велика.

Соображенія, служащія основаніемъ для большаго или меньшаго увеличенія внутренняго діаметра обсадной трубы, могутъ быть различны. Теоретически, какъ мы видѣли выше, въ колодцахъ съ проницаемыми стѣнками увеличеніе притока воды увеличеніемъ діаметра трубъ, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, почти не достигается. Но тутъ необходимо принять въ соображеніе, что для поддерживанія скорости прохода воды въ извѣстныхъ предѣлахъ требуется извѣстная величина проницаемой поверхности. Въ глинистомъ пескѣ скорость воды не должна достигать 0,0002 метр. въ секунду, а въ крупно-песчаной почвѣ (съ діаметромъ зеренъ отъ 1 — 2 миллим.) скорость не должна быть больше 0,002 метр. въ секунду. Это правило, при данномъ доставляемомъ колодцемъ количествѣ воды и при опредѣленной мощности водоноснаго слоя, по толщинѣ котораго стѣнки колодца должны быть водопроницаемы, опредѣляетъ собой діаметръ трубы. Но количество доставляемой колодцемъ воды, съ своей стороны, обусловливается допускаемой депрессіей въ колодцѣ, которая обыкновенно ограничивается максимумомъ въ 2.5 метр. Въ другихъ отношеніяхъ діаметръ трубы обусловливается большей или меньшей трудностью погруженія ея въ почву.

Если колодецъ долженъ быть въ состояніи временами доставлять количество воды, превышающее нормальный притокъ, то колодецъ дѣлается большого діаметра, и нижняя часть его играетъ роль резервуара. Если всасывающая труба отъ насоса опускается непосредственно въ обсадную трубу, то между ними долженъ быть нѣкоторый промежутокъ, соотвѣтственно которому увеличивается діаметръ трубы.

Обыкновенно рѣдко удается опредѣлить діаметръ обсадной трубы путемъ теоретическихъ изслѣдованій, такъ какъ главный факторъ вычисленія, свойства водоноснаго слоя, въ большей части случаевъ не изученъ въ совершенствѣ. Вообще для колодцевъ въ хрящеватомъ, свободномъ отъ плывучихъ песковъ, грунтѣ не слѣдуетъ выбирать слишкомъ малые размѣры трубъ; для подобныхъ грунтовъ наиболѣе подходящими будутъ діаметры отъ 100 до 500 миллиметровъ. Въ этихъ случаяхъ необходимо стараться обходиться по возможности съ наименьшимъ числомъ колодцевъ. Если водоносный слой, наоборотъ, состоитъ изъ мелкаго песку, то въ экономическомъ отношеніи большей частью оказывается выгоднѣе заложить на недалекомъ другъ отъ друга разстояніи нѣсколько колодцевъ незначительныхъ діаметровъ (отъ 50 до 100 милиметр.). Въ подобномъ грунтѣ болѣе крупный колодецъ, при одинаковомъ пониженіи, обыкновенно имѣетъ приблизительно одинаковый съ малыми колодцами предѣлъ расхода. При увеличеніи числа колодцевъ достигается большая, такъ сказать, эластичность сооруженія при перемѣнной потребности, что весьма важно.

Въ исключительныхъ только случаяхъ для добыванія воды можно удовольствоваться трубой, проходящей въ водоносный слой и снабженной отверстіями или щелями. Это оказывается возможнымъ, напр., при сборѣ воды изъ трещиноватыхъ породъ, о чемъ подробнѣе будетъ изложено ниже при разсмотрѣніи артезіанскихъ колодцевъ, а также въ грунтахъ изъ крупнаго песку, хряща и т. п. Въ этихъ случаяхъ вода удобно можетъ быть получена помощью чугунной трубы, проницаемой только у своей подошвы или же снабженной щелями на короткомъ протяженіи отъ подошвы (см. стр. 373).

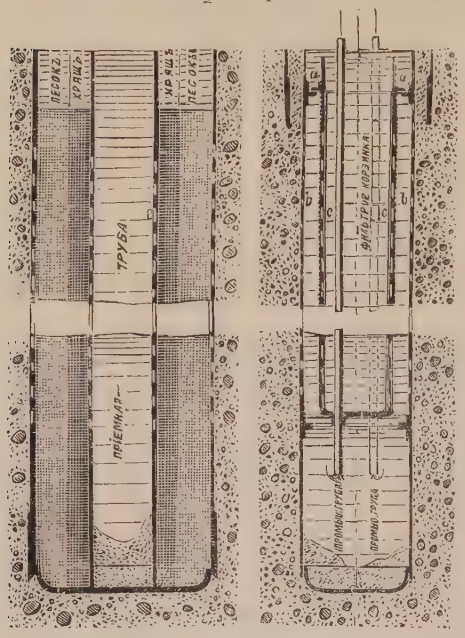
Обыкновенно почва содержитъ въ себѣ песчаныя и илистыя частицы, которыя бываютъ меньше отверстій или щелей на концѣ трубы; поэтому необходимо предупреждать поступленіе подобныхъ частицъ въ колодецъ, т. е. вода необходимо должна фильтроваться. Эта цѣль достигается проволочными сѣтками или тканью, обтягивающей впускныя отверстія трубы, а въ послѣднее время все чаще и чаще встрѣчается примѣненіе для этой цѣли цилиндрическихъ песчаныхъ фильтровъ, расположенныхъ по порядку крупности песчаныхъ зернъ.

Проволочныя ткани, употребляемыя для обтягиванія трубъ, имѣютъ видъ сѣтки и бываютъ почти непрозрачны; въ зависимости отъ своего устройства онѣ окончательно преграждаютъ доступъ песку до извѣстной величины зеренъ. Песчаныя зерна, имѣющія меньшій діаметръ, нежели клѣтки ткани, безпрепятственно проходятъ черезъ сѣтку и попадаютъ въ колодецъ; песчинки одинаковой величины съ клѣтками большей частью задерживаются въ клѣткахъ, а болѣе крупныя располагаются вплотную къ сѣткѣ предъ клѣтками. Чѣмъ больше клѣтки ткани постепенно засориваются пескомъ, тѣмъ труднѣе бываетъ проходъ для воды и тѣмъ больше, при прочихъ неизмѣнившихся обстоятельствахъ, бываетъ депрессія въ колодцѣ; если же подпочва содержитъ еще глинистыя или органическія примѣси, то по истеченіи болѣе или менѣе короткаго промежутка времени происходитъ засореніе сѣтки или обтянутаго ею фильтра. Для избѣжанія неудобствъ, сопряженныхъ съ подобными заносами или засореніями фильтровъ, трубчатые колодцы съ фильтровыми сѣтками въ послѣднее время устраиваются такъ, что фильтры легко вынимаются изъ трубъ и легко могутъ быть очищены; тѣмъ не менѣе подобное вытаскиваніе и очистка фильтровъ представляетъ собой операцію довольно дорогую и нарушающую правильный ходъ работы колодца. Приспособленія для вымыванія сѣтки помощью обратнаго тока или струи воды и т. п. во всякомъ случаѣ представляютъ собой способы, далеко не совершенные. Вслѣдствіе всѣхъ этихъ обстоятельствъ трубчатые колодцы съ фильтровыми корзинками почти безъ исключенія могутъ дѣйствовать въ теченіе только болѣе или менѣе ограниченнаго времени.

Предпочитаемые имъ песчаные фильтры вокругъ трубчатыхъ колодцевъ устраиваются такъ, что вокругъ дырчатой колодезной трубы располагаютъ крупный песокъ или хрящъ, отдѣльныя зерна котораго имѣютъ діаметръ, болѣе крупный, нежели щели или отверстія въ стѣнкахъ трубы. За этимъ крупнымъ матеріаломъ слѣдуетъ болѣе мелкій и въ такомъ послѣдовательномъ порядкѣ, что наружный фильтрующій слой въ состояніи препятствовать проникаію плывучаго песка и проч. При чистой грунтовой водѣ подобные фильтры, какъ показала практика, дѣйствуютъ превосходно во всѣхъ отношеніяхъ.

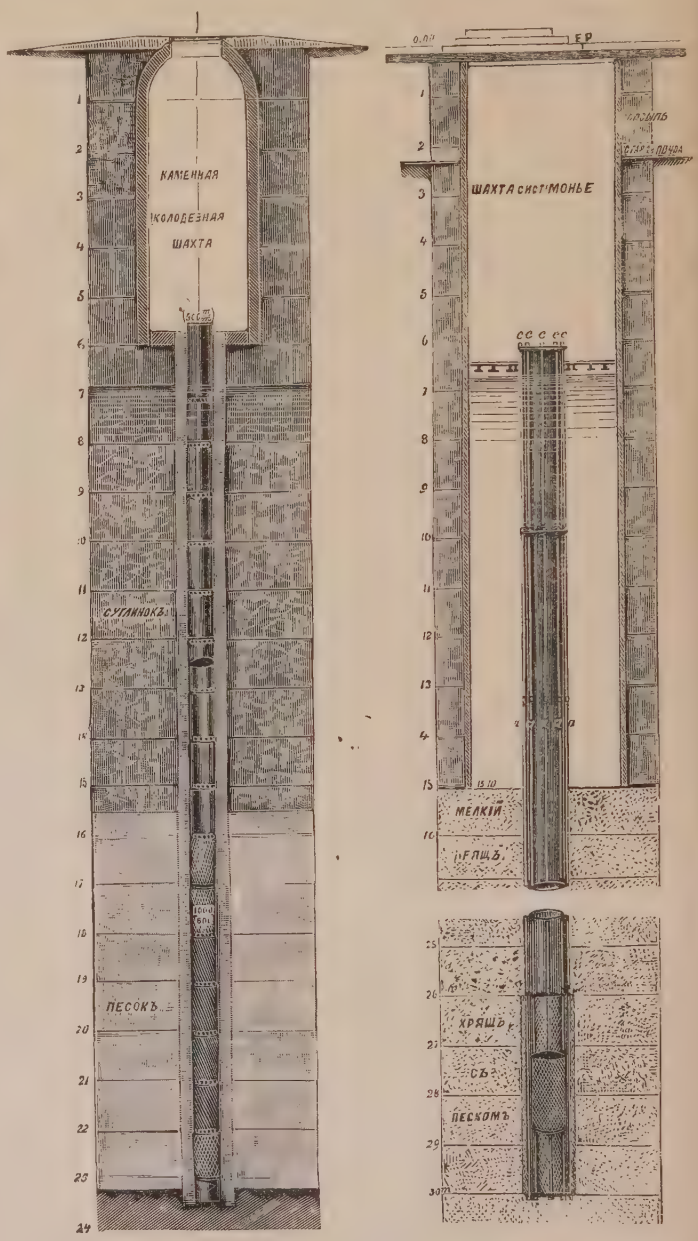
На фиг. 159 изображены два способа устройства трубчатыхъ колодцевъ: съ правой стороны изображенъ трубчатый колодецъ съ выемной фильтровой корзинкой и приспосо-

бленіемъ для промывки, примѣненный Смрекеромъ въ Маннгеймѣ [1]), а съ лѣвой стороны показано устройство, въ которомъ фильтровая корзинка замѣнена песчаными слоями. Изображенный здѣсь колодецъ съ фильтровой корзинкой оказывается весьма цѣлесообразнымъ для водоноснаго слоя съ примѣсью плывучихъ песковъ. Снерва въ подпочву опускается обсад-



Фиг. 159. Устройство трубчатыхъ колодцевъ
Масштабъ 1:30 нат. вел.

ная труба со сплошной стѣнкой, для возможности погруженія наружной предохранительной корзинки *a*; послѣ погруженія послѣдней обсадная труба вытягивается назадъ, какъ показано на фиг. 159. Наружная предохранительная корзинка на длинѣ, соотвѣтствующей толщинѣ водоноснаго слоя, снабжена щелями, выше и ниже которыхъ она имѣетъ сплошную стѣнку, при чемъ она снабжена сплошнымъ дномъ. Эти щели служатъ для препятствованія попаданію крупнаго песку. Фильтровая корзинка *b* тоже снабжена щелями и имѣетъ сплошное дно; дырчатая часть ея окружена сѣтчатой тканью, служащей для задержанія мелкаго песку. Черезъ дно фильтровой корзинки проходятъ 2 трубы *c*, служащія для промывки образующихся въ наружной корзинкѣ илистыхъ осадковъ, а также и для провода обратно вверхъ воды, впущенной сверху и проходящей черезъ ткань для чистки послѣдней. Такъ какъ фильтровая корзинка не связана неразрывно съ наружной предохранительной корзинкой, а лежитъ на находящейся при *a* опорѣ, то въ



Фиг. 160. Трубчатый колодецъ въ Шпейерѣ и колодецъ Пфальцской жел. дор.
Масштабъ 1:150 натур. велич.

[1]) Smreker. Das Wasserwerk der Stadt Mannheim. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingen. 1891. т. 35, стр. 601.

случаѣ засоренія фильтровой корзинки она можетъ быть вынута, очищена и опять спущена въ трубу.

Въ устройствѣ, изображенномъ на фиг. 159 съ лѣвой стороны, наружная обсадная труба продырявлена на такой длинѣ, которая соотвѣтствуетъ толщинѣ водоноснаго слоя; въ эту трубу опускается пріемная труба *c* такъ, что оси обѣихъ трубъ совпадаютъ между собой. Помощью вставленныхъ въ пространство между обѣими трубами цилиндрическихъ жестяныхъ шаблоновъ въ это пространство насыпается песчаный фильтръ съ увеличивающимися кнаружи песчаными зернами, который при правильномъ устройствѣ гораздо вѣрнѣе сѣтчатой ткани достигаетъ своей цѣли: препятствовать заносу колодца пескомъ. При засореніи фильтра, которое можетъ произойти только въ случаѣ грязной грунтовой воды, можно, вынувъ сперва пріемную трубу, вычистить наружную корзинку помощью желонки и затѣмъ вновь наполнить ее пескомъ, какъ это сдѣлано вначалѣ.

Обыкновенно, впрочемъ, грунтовая вода бываетъ настолько чиста, что позднѣйшее вынманіе фильтра, а также и наружной предохранительной корзинки, совершенно устранено; для опусканія фильтра погружаютъ, какъ и прежде, обсадную трубу со сплошной стѣнкой, которая совершенно вынимается послѣ установки фильтра описаннымъ путемъ.

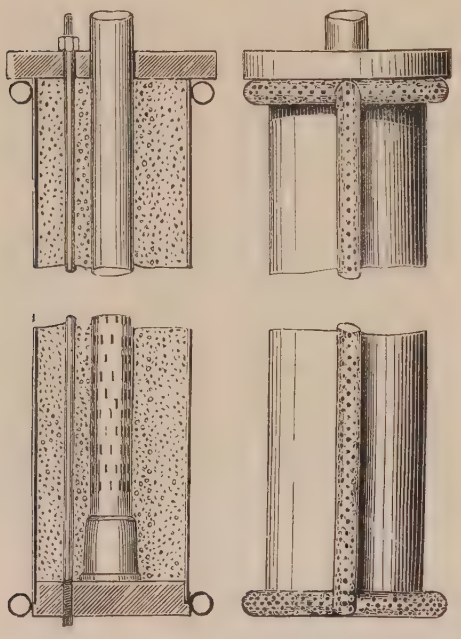
Колодцы послѣдняго устройства изображены на фиг. 160 *). лѣвая часть которой изображаетъ колодецъ, устроенный въ Шпейерѣ, а правая изображаетъ колодецъ на Пфальцской

*) Эти колодцы устраиваются фирмой Borp u. Reuther въ Маннгеймѣ, устроившей въ послѣднее время еще слѣдующіе колодцы:

Гдѣ устроенъ колодецъ.	Глубина буренія метр.	Діам. наружной обсадной трубы милим.	Сѣтка или фильтръ.		Доставляетъ воды литровъ въ минуту.
			Длина метр.	Діаметръ милим.	
Пневматич. солодовая фабрика въ Нейштадтѣ	7,50	800	2,50	700	—
Пфальцская жел. дор.	15,00	1000	4,00	700	700
„ „ „	19,45	800	7,00	120	130
Водопроводъ Шпейерскій	19,00	1000	3,00	700	800
Бумагопрядильня Шпейерская (2 колод.)	23,50	1000	7,00	500	500
Пивоваренн. зав. Гагена, Маннгеймъ.	15,60	800	2,25	700	335
Пивоваренн. зав. Гагена, Маннгеймъ	11,20	800	2,50	600	335
Фабрика Штокгейма въ Маннгеймѣ	4,00	1000	3,00	600	—
Маннгеймскій акц. пивов. заводъ	11,00	1000	3,00	600	580
Пробные колодцы для гор. Вюрцбурга (8 колодц.).	7,50	500	1,50	250	120
Водоснабженіе Франкфурта на Майнѣ (210 колод.)	30,00	180	6,50	70	60
Фабрика Боппъ и Рейтера . . .	20,50	1000	13,00	600	1000
Сахаро-рафин. зав. въ Маннгеймѣ	11,00	1000	5,25	600	700

Всѣ эти колодцы расположены въ водоносныхъ слояхъ неоднородныхъ качествъ съ большей или меньшей примѣсью мелкаго песку; изъ этой таблицы нѣкоторымъ образомъ видно вліяніе діаметра и длины дырчатой части пріемной трубы, названной „сѣткой“.

жел. дор. Въ послѣднемъ случаѣ водоносный слой (мелкій песокъ) мощностью около 7,5 метр. расположенъ между двумя пластами глины. Дырчатая часть пріемной трубы имѣетъ длину 7 метр. и діаметръ 0,5 метр. Для доступа въ колодецъ служитъ шахта, которая, однако, не примѣняется въ качествѣ резервуара. Уровень воды въ трубѣ расположенъ нормально на 1 метръ ниже подошвы шахты. Вся пріемная труба, начиная съ подошвы шахты до непроницаемаго слоя, окружена песчанымъ слоемъ, который на длинѣ сѣтки состоитъ изъ песчинокъ двоякой крупности.



Фиг. 161. Коробчатый колодецъ Штанга.

Масштабъ 1:15 нат. вел.

Колодецъ Пфальцской жел. дор. оканчивается вверху шахтой Монье и отличается отъ только что описаннаго колодца тѣмъ, что снабженъ приспособленіемъ для промывки щелей въ сѣткѣ. Для этой цѣли вокругъ обсадной трубы устанавливаются 8 гальванизированныхъ желѣзныхъ трубъ, обозначенныхъ на чертежѣ буквами *a*, *b*, *c*. Трубки *a* имѣютъ сплошныя стѣнки; трубки *b* на длинѣ сѣтки снабжены отверстіями; устья *c* трубокъ служатъ для соединенія съ насосомъ. Накачиваемая при *c* подъ напоромъ вода устремляется черезъ дырчатыя трубки къ сѣткѣ и по возможности промываетъ какъ щели, такъ и окружающую ихъ обкладку, отъ ила; эта чистка, впрочемъ, можетъ быть произведена и посредствомъ выкачиванія воды.

Для обыкновеннаго колодца, доставляющаго питьевую воду, бываетъ достаточна скважина или обсадная труба діам. 100 до 150 милиметр., въ которую опускается всасывающая труба (сѣтка) діам. отъ 50 до 125 милим.

Въ Голландіи при очень мелкихъ пескахъ подобнымъ же образомъ устраиваются такъ называемыя коробчатые колодцы, погружаемые путемъ промывки. На фиг. 161 изображенъ подобный коробчатый колодецъ, впервые изобрѣтенный Штангомъ и примѣненный во многихъ городахъ Голландіи [1]). Цилиндръ изъ листоваго желѣза устанавливается на деревянный поддонъ и по установкѣ въ его серединѣ всасывающей трубы онъ заполняется раковинами для образованія искусственнаго фильтра. Въ деревянномъ поддонѣ цилиндра закрѣпляется желѣзная штанга, проходящая черезъ верхнюю крышку цилиндра, въ которой она закрѣпляется гайками. Для погруженія желѣзнаго цилиндра онъ снабжается двумя боковыми продольными дырчатыми трубами, соединяющимися между собою вверху и внизу цилиндра помощью кольцевыхъ трубъ. При опусканіи цилиндра въ эти трубы накачивается вода подъ напоромъ, и погруженіе цилиндра производится вращеніемъ его при умѣренной нагрузкѣ. Когда цилиндръ занялъ правильное положеніе въ водоносномъ слоѣ, сперва отвинчиваются гайки, прикрѣпляющія верхнюю крышку, затѣмъ вывинчиваются и вынимаются штанги изъ нижняго, остающагося въ землѣ, поддона. Наконецъ, вытаскивается весь кожухъ вмѣстѣ съ укрѣпленными на немъ промывными трубами.

Щели и отверстія въ желѣзныхъ черныхъ трубахъ въ грунтовой водѣ сильно затягиваются ржавчиной; поэтому дырчатыя (или со щелями) части трубчатыхъ колодцевъ, остающіяся въ почвѣ, можно совѣтовать дѣлать изъ мѣдныхъ трубъ, а если по какимъ-либо другимъ соображеніямъ, напр. для увеличенія прочности, употребляются желѣзныя трубы, то необходимо употреблять трубы, покрытыя цинкомъ. Точно также цилиндры или барабаны фильтровыхъ корзинокъ дѣлаются изъ мѣди или бронзы, а сѣтки—изъ мѣдной проволочной ткани.

[1]) На ф. 161 изображенъ колодецъ по эскизу колодцевъ для водоснабженія гор. Амстердама.

иногда для предохраненія отъ окисленія эти части тоже покрываются слоемъ цинка.

Если обсадная труба со сплошной стѣнкой остается постоянно въ грунтѣ, какъ это, напр., имѣетъ мѣсто во всѣхъ случаяхъ, когда доступъ воды происходитъ только у подошвы трубы, то чугунъ считается наиболѣе удобнымъ матеріаломъ, такъ какъ изготовленныя изъ него трубы, при одинаковой или нѣсколько только высшей цѣнѣ въ сравненіи съ желѣзными, несравненно долговѣчнѣе послѣднихъ. Для тѣхъ же обсадныхъ трубъ, которыя по окончаніи установки трубчатаго колодца опять вынимаются изъ земли, наилучшимъ матеріаломъ, наоборотъ, считается желѣзо; желѣзныя трубы не такъ ломки, какъ чугунныя, которыя, будучи опущены на глубину больше 10 — 15 метр., для обратнаго ихъ вытягиванія должны быть захвачены у башмака, что во многихъ случаяхъ весьма затруднительно.

Соединенія чугунныхъ трубъ приведены нами ниже (см. фиг. 168). Для желѣзныхъ трубъ примѣняются различнаго рода соединенія; преимущественно для этой цѣли употребляются муфтовыя трубы, а также гладкія сварныя и клепанныя желѣзныя трубы.

Изготовляемыя заводомъ Газенорля въ Вѣнѣ желѣзныя муфтовыя обсадныя трубы при различныхъ внутреннихъ діаметрахъ имѣютъ толщину стѣнокъ и вѣсъ, показанные въ слѣдующей таблицѣ:

Внутренній діаметръ милим.	Наружный діаметръ милим.	Толщина стѣнокъ милим.	Строительная длина милим.	Длина муфтъ милим.	Вѣсъ 1 погон. метра трубъ въ килогр.
210	218	4,0	4500 — 5500	100	20,8
240	248	4,0	„	„	24,0
270	278	4,0	„	„	26,9
310	318	4,0	„	„	30,8
350	358	4,0	„	„	34,7
390	398	4,0	„	„	38,6
440	449	4,5	„	„	49,0
490	499	4,5	„	„	54,5
540	550	5,0	„	„	66,8

Патентованныя сварныя, гладкія внутри и снаружи, желѣзныя трубы безъ муфтъ ввинчиваются одна въ другую и легче опускаются и вытаскиваются, нежели муфтовыя трубы. Но онѣ при этомъ имѣютъ значительную толщину стѣнокъ; такъ, напр., въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ употребляются муфтовыя трубы съ толщиною стѣнокъ въ 4 милим., сварныя гладкія трубы должны имѣть толщину стѣнокъ въ 7 милим. Эти трубы изготовляются съ наружнымъ діаметр. отъ 90 до 300 милим. съ толщ. стѣнокъ отъ 4 до 10 милиметр.

Въ прежнее время для укрѣпленія буровыхъ скважинъ употреблялись исключительно клепанныя желѣзныя трубы; онѣ изготовляются изъ желѣзныхъ листовъ и въ послѣднее время опять начинаютъ входить въ употребленіе. Онѣ обыкновенно составляются изъ короткихъ коническихъ звеньевъ (фиг. 160), склепываемыхъ на мѣстѣ работъ, что весьма удобно при не-

большихъ буреніяхъ, такъ какъ короткія трубы не требуютъ для своего поддерживанія лѣсовъ и подмостей, какъ это необходимо въ случаѣ длинныхъ трубъ.

Чугунныя трубы для опускныхъ колодцевъ при діаметрахъ отъ 200 милиметр. обыкновенно имѣютъ строительную длину въ 4 метра.

Во всѣхъ буровыхъ скважинахъ, закладываемыхъ съ цѣлью полученія воды или для изслѣдованія свойствъ водоносныхъ пластовъ, необходимо наблюдать за тѣмъ, чтобы обсаживаніе или опусканіе обсадныхъ трубъ производилось равномѣрно по мѣрѣ буренія. Только въ подобномъ случаѣ буреніе даетъ надежныя указанія относительно свойствъ грунта, насколько это вообще возможно по результатамъ буренія, и при этомъ только способѣ работъ устраняется разстройство скважинъ отъ обваловъ и проч. Несмотря на это, какъ мы указали выше, могутъ происходить ошибки относительно свойствъ грунта и тѣмъ чаще, чѣмъ меньше скважина, и обратно.

Очень широкія буренія на глубинѣ до 25 — 30 метр. подъ водой весьма цѣлесообразно производятся пневматическимъ путемъ; само собой разумѣется, что при этомъ способѣ заложенія скважинъ возможно весьма точное и опредѣленное ориентированіе относительно свойствъ грунта. Но расходы по буренію при такомъ способѣ чрезвычайно значительны, и поэтому весьма мало предпринимателей работаетъ по этому способу. Само собой разумѣется, что діаметръ въ свѣту трубчатыхъ колодцевъ гораздо меньше обыкновенныхъ колодцевъ; наиболѣе употребительный въ практикѣ размѣръ трубчатыхъ колодцевъ или діаметръ трубы составляетъ отъ 100 до 600 миллим. Впрочемъ, чугунные трубчатые колодцы дѣлаются также и діаметр. 1,2 метр., причемъ отдѣльныя трубы имѣютъ длину по 4 метр.; опусканіе подобныхъ колодцевъ производится путемъ вычерпыванія или откопки земли, о чемъ скажемъ ниже.

Всякому окончательному устройству трубчатаго колодца должно предшествовать пробное буреніе на мѣстѣ предполагаемаго колодца, такъ какъ въ наносныхъ и осадочныхъ отложеніяхъ, въ третичныхъ формаціяхъ и друг. часто обнаруживаются значительная разница свойствъ подпочвы на весьма близкихъ другъ отъ друга сосѣднихъ мѣстахъ. Буровые образцы укладываются въ деревянныя коробки и сохраняются для сравненія; точно также необходимо вести буровой журналъ, въ которомъ заносятся всѣ замѣченныя при работахъ обстоятельства и случайности. При неисполненіи этихъ правилъ цѣль буренія, состоящая въ полученіи понятія о свойствахъ грунта, остается недостигнутой, какъ для непосвященныхъ лицъ, такъ и для руководителя буреніемъ, такъ какъ съ теченіемъ времени представленіе о свойствахъ почвы сглаживается изъ памяти. Въ примѣняемой къ трубчатымъ колодцамъ системѣ Доннетъ колодезная труба замѣнена особаго рода всасывающимъ воздушнымъ котломъ; для нормальныхъ случаевъ мы въ этомъ не видимъ никакихъ преимуществъ. Что касается стоимости трубчатыхъ колодцевъ, то при ея опредѣленіи можно руководствоваться каталогами и прейсъ-курантами различныхъ надежныхъ фирмъ; при этомъ считаемъ нелишнимъ здѣсь указать, что 1 пог. метръ скважины діаметр. отъ 200 до 300 миллим., которая можетъ быть пройдена только желонкой, при глубинѣ скважины отъ 50 до 60 метр., въ среднемъ долженъ обходиться не больше 30 –40 марокъ (15 — 20 рублей). Количество вынимаемаго изъ скважины въ голышѣ матеріала приблизительно въ $1^1/_2$—2 раза больше того количества, которое получается вычисленіемъ по діаметру скважины и глубинѣ ея. Цѣна проволочной ткани или сѣтки обозначена въ прейсъ-курантахъ различныхъ фирмъ и составляетъ отъ 15 до 20 марокъ (7,50—10 руб.) за 1 квадр. метръ.

Каменные колодцы. Колодцы въ такомъ видѣ, какъ они встрѣчаются въ некультурныхъ странахъ, представляютъ собой ничто иное, какъ простыя или весьма примитивнымъ путемъ предохраненныя отъ обваловъ ямы (такъ называемые ямные колодцы). Каменные колодцы употребляются въ культурныхъ странахъ съ давнихъ временъ и отличаются отъ примитивныхъ сооруженій правильнымъ предохраненіемъ ихъ отъ обваловъ и еще тѣмъ преимуществомъ, что полученіе воды не ограничивается только верхнимъ водянымъ этажемъ, но въ нихъ вода можетъ быть добыта и изъ глубоко лежащихъ слоевъ[1]).

До послѣднихъ десятилѣтій каменные колодцы въ Германіи не примѣнялись для питанія большихъ водоснабженій, а служили только для доставленія воды въ отдѣльные дома, усадьбы и т. д.; они обыкновенно опускались только на 1 — 1,5 метр. ниже уровня грунтовой воды и употреблялись съ перерывами. Для подобнаго же примѣненія и въ настоящее время служитъ огромное число колодцевъ. Точно также подобные колодцы съ насосами встрѣчаются во многихъ мѣстахъ для общественныхъ цѣлей, преимущественно въ деревняхъ.

Многія изъ подобныхъ сооруженій существуютъ въ видѣ черпальныхъ колодцевъ, изъ которыхъ вода добывается бадьей или же помощью ручного или цѣпного черпака; подобныя сооруженія большей частью встрѣчаются тамъ, гдѣ уровень воды расположенъ очень глубоко подъ поверхностью почвы или же, наоборотъ, настолько близко, что удобно можно черпать воду прямо рукой. Знаменитые колодцы перваго рода находятся, напримѣръ, въ Нюренбергѣ, въ крѣпости Траусницъ при Ландсгутѣ, въ предмѣстьѣ города Альтбрейзаха и въ другихъ мѣстахъ. Послѣдній колодецъ употребляется еще и до настоящаго времени. Обыкновенные черпальные колодцы съ уровнемъ воды, расположеннымъ вблизи поверхности земли, очень часто встрѣчаются въ гористыхъ мѣстностяхъ.

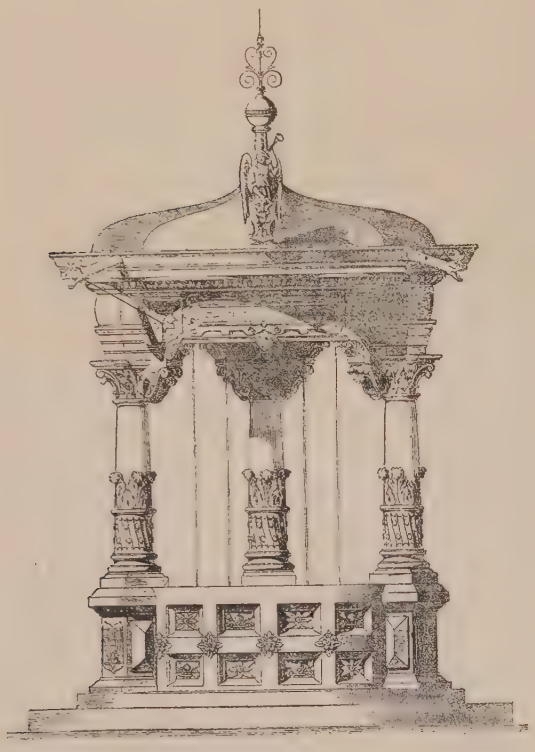
Глубокіе черпальные колодцы обыкновенно устраиваются цилиндрическими съ діаметромъ въ свѣту около 1 до 1,5 метровъ и предохраняются отъ обвала помощью стѣнокъ изъ сухой каменной кладки или кладкой изъ тесаныхъ камней. Черезъ открытые, иногда заложенные мхомъ, швы каменной кладки грунтовая вода можетъ поступать въ колодецъ. Крыша обыкновенно защищаетъ колодецъ отъ непосредственнаго попаданія въ него дождевой воды; въ нѣкоторыхъ случаяхъ крыша служитъ для поддержки черпающаго приспособленія, и это перекрытіе, какъ показано на фиг. 162, во многихъ случаяхъ устраивается съ художественной отдѣлкой.

Совершенно такое же устройство имѣютъ и обыкновенные насосные колодцы, какъ, напримѣръ, изображенный на фиг. 163. Въ прежнее время насосные колодцы постоянно устраивались со стѣнками изъ сухой кладки неправильнаго вида камней или тесаныхъ камней. Въ настоящее время колодцы устраиваются со стѣнками изъ кирпича, сложеннаго на цементномъ растворѣ, такъ что весь колодецъ проницаемъ только со стороны его подошвы или дна. Устройство колодцевъ производится такимъ образомъ, что сперва выкапывается фундаментная яма до уровня грунтовой воды; затѣмъ поверхъ грунта начинается кладка колодца на деревянной, снабженной желѣзными рѣзаками, рамѣ (называемой опускной рамой, опускнымъ вѣнцомъ и проч.), при чемъ каменная кладка снабжается снаружи слоемъ гладкой цементной штукатурки. Затѣмъ приступаютъ собственно къ опусканію колодца путемъ подкапыванія подъ нижнюю раму; какъ только треніе колодца объ окружающую землю становится недостаточнымъ для уравновѣшиванія тяжести колодца, послѣдній приходитъ въ вертикальное движеніе внизъ. Различные способы подкапыванія нижней рамы будутъ нами разсмотрѣны ниже, а здѣсь замѣтимъ только, что для устройства обыкновенныхъ насосныхъ колодцевъ исключительно примѣняется способъ подкапыванія при вычерпываніи воды. Поэтому при

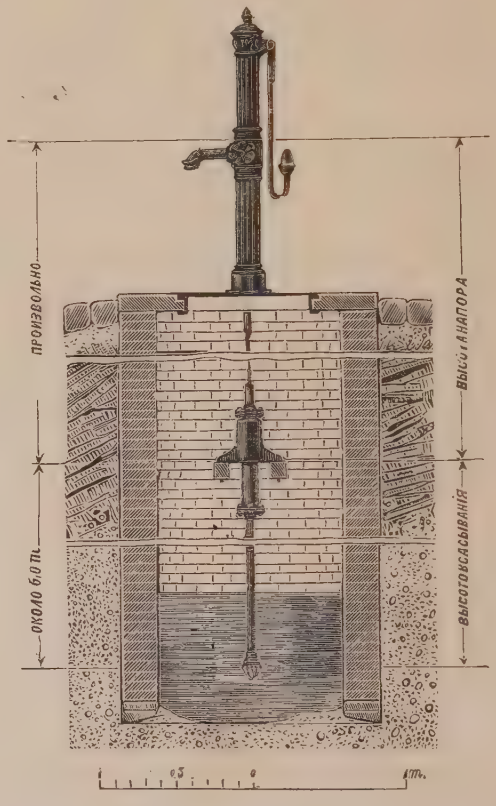
[1]) По мнѣнію М. Эйта (см. Das Wasse im altenr und neuen Egypten. Nachricht. aus d. Klub d. Landw. in Berlin. 1891, стр. 2178) круглые діам. 3 ÷ 4 метр., опущенные въ грунтовый потокъ долины р. Нила, выложенные изъ камня и снабженные приводами для черпанія изъ нихъ воды, колодцы, примѣняемые для орошенія полей, такъ же древни, какъ и древнѣйшіе іероглифы.

мощныхъ грунтовыхъ потокахъ, уровень которыхъ понижается только при большихъ расходахъ воды, глубина воды въ подобныхъ колодцахъ бываетъ невелика, и обратно [1]).

Пользованіе колодцами происходитъ помощью обыкновеннаго насоса, какъ показано на фиг. 163. Необходимо здѣсь замѣтить, что высота всасыванія (т. е. разстояніе между пониженнымъ уровнемъ воды и положеніемъ насоса) для хорошаго дѣйствія насоса не должна превышать 6 метровъ. Такимъ образомъ это предѣльное положеніе должно быть установлено при наинизшемъ стояніи грунтовыхъ водъ и пониженіи уровня, соотвѣтствующемъ наибольшему расходу, какъ это сдѣлано на фиг. 163; если уровень воды, даже при самой сильной откачкѣ, остается одинаковымъ, какъ на фиг. 163, то высота всасыванія, само собой разумѣется, считается отъ уровня воды въ колодцѣ.



Фиг. 162. Покрытіе черпальнаго колодца въ Оберенгейнѣ въ Эльзасѣ.



Фиг. 163. Обыкновенный насосный колодецъ.

Наблюденія, произведенныя надъ различными колодцами и показавшія, что уровень грунтовыхъ водъ, даже при усиленномъ безпрерывномъ долговременномъ расходѣ, понижается весьма мало, повели къ устройству подобныхъ колодцевъ для большихъ постоянныхъ расходовъ воды, т. е. къ переходу отъ децентрализаціоннаго водоснабженія, помощью многихъ отдѣльныхъ колодцевъ, къ центральному водоснабженію помощью одного колодца. Весьма естественно у строителей колодцевъ родилась мысль, что для большихъ количествъ воды требуются и большихъ размѣровъ колодцы.

Тѣмъ не менѣе, способъ централизаціи оказался удачнымъ и примѣнимымъ въ ограниченномъ только числѣ случаевъ, такъ какъ діаметры колодцевъ а также и возможность откачиванія опредѣленнаго количества воды въ опредѣ-

[1]) При общихъ изслѣдованіяхъ для водопроводныхъ сооруженій это обстоятельство во многихъ случаяхъ имѣетъ значеніе, какъ признакъ водоносности подпочвы.

ленномъ мѣстѣ вообще имѣютъ нѣкоторые предѣлы, обусловливаемые свойствами водоноснаго слоя.

Мы уже неоднократно указывали, что для колодцевъ съ проницаемыми стѣнками предположеніе о возростаніи производительности колодца пропорціонально его діаметру, при прочихъ равныхъ условіяхъ, совершенно неправильно. Въ данномъ случаѣ увеличеніе діаметра въ сравненіи съ другими факторами имѣетъ весьма незначительное вліяніе на получаемое при опредѣленномъ пониженіи уровня количество воды. Совсѣмъ иное явленіе получается въ колодцѣ съ непроницаемой оболочкой. Предыдущія наши изслѣдованія (см. гл. 6) показали, что въ данномъ случаѣ для каждаго матеріала существуетъ извѣстная предѣльная скорость, которой не должна превышать скорость воды на окружности колодезной рамы, гдѣ грунтовая вода поступаетъ въ колодецъ. Если расходъ воды увеличивается до наступленія этой предѣльной скорости, то количество воды, даваемой колодцемъ съ непроницаемой оболочкой, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше окружность колодезной рамы, или чѣмъ больше діаметръ колодца. Вообще же, какъ видно изъ ур. 6), 9), 20), 29) и 52) предыдущей главы, главную роль тутъ играетъ глубина подошвы шахты подъ водой, или, при колодцахъ съ проницаемой оболочкой, высота водоноснаго или откачиваемаго слоя и крупнозернистость водоноснаго слоя, такъ что ни въ какомъ случаѣ діаметръ колодца не можетъ считаться единственнымъ факторомъ, вліяющимъ на его производительность. Совершенно неправильно будетъ опредѣлять производительность колодца по числу квадратныхъ метровъ площади его дна.

Относительно приведенныхъ нами въ предыдущей главѣ теоретическихъ выводовъ необходимо еще здѣсь упомянуть, что при колодцахъ съ непроницаемыми или полупроницаемыми стѣнками начало депрессіонной кривой (снаружи у стѣнки колодца) расположено выше уровня воды въ колодцѣ, а именно на такую величину, которая требуется для преодолѣнія тренія воды между наружной поверхностью стѣнки и наслоеніемъ грунта. Кромѣ того, необходимо еще принять во вниманіе, что при дѣйствіи колодца, расположеннаго въ мощномъ грунтовомъ потокѣ, производительность его, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, можетъ съ теченіемъ времени возрости, если въ водоносномъ слоѣ вслѣдствіе сильныхъ теченій происходитъ вымываніе отдѣльныхъ каналовъ или проходовъ для воды.

Значительные внутренніе діаметры колодцевъ являются умѣстными въ тѣхъ случаяхъ, когда колодецъ имѣетъ непроницаемую стѣнку и опущенъ въ слой крупныхъ валуновъ, однако смѣшанныхъ съ пескомъ, при чемъ онъ долженъ давать значительное количество воды; кромѣ того, значительные діаметры колодцевъ часто обусловливаются еще тѣмъ обстоятельствомъ, что колодецъ долженъ служить одновременно и резервуаромъ.

Тѣмъ не менѣе, встрѣчаются крупные колодцы, устроенные даже въ наносныхъ пескахъ, примѣромъ чему можетъ служить колодецъ на королевскомъ рудникѣ въ верхней Силезіи, имѣющій діаметръ 11 метр. и расположенный на 8,7 метр. подъ водой, съ производительностью 1 куб. метръ воды въ минуту или 17 литр. въ секунду. Опытъ, однако, показываетъ, что въ этомъ и подобныхъ ему случаяхъ тотъ же результатъ можетъ быть полученъ гораздо дешевле помощью группы трубчатыхъ колодцевъ или же ряда колодцевъ.

Впрочемъ, большіе колодцы по сравненію съ трубчатыми колодцами имѣютъ то неоцѣнимое преимущество, что они во всякое время доступны во всѣхъ ча-

стяхъ, имѣющихъ при этомъ весьма простую конструкцію. Занесеніе подошвы колодца пескомъ можетъ быть предупреждено уложеннымъ на днѣ колодца фильтромъ. Такимъ образомъ въ тѣхъ случаяхъ, когда стоимость устройства трубчатаго колодца немного ниже стоимости каменнаго колодца, послѣднему слѣдуетъ отдавать преимущество предъ первымъ.

Проницаемость стѣнокъ каменныхъ колодцевъ достигается тѣмъ, что по длинѣ, соотвѣтствующей водоносному слою, стѣнки выкладываются на-сухо и снабжаются широкими швами, какъ это сдѣлано, напр., въ колодцѣ водопровода въ Карлсруэ и въ большинствѣ старыхъ насосныхъ колодцевъ, или же она достигается выведеніемъ стѣнокъ изъ двухъ частей, между которыми располагается промежуточный фильтръ. Первый способъ возможенъ въ водоносномъ слоѣ съ крупными зернами; второй же способъ можетъ быть примѣненъ и при мелкозернистомъ водоносномъ слоѣ, но имѣетъ тотъ недостатокъ, что фильтръ по истеченіи нѣкотораго времени засоряется. Поэтому колодцы послѣдняго типа устраиваются весьма рѣдко, а большей частью замѣняются трубчатыми колодцами. Наоборотъ, очень часто встрѣчаются большіе колодцы съ непроницаемыми стѣнками.

Опусканіе каменныхъ колодцевъ производится различными способами, но главнымъ образомъ: подкапываніемъ при одновременномъ вычерпываніи воды, выниманіемъ земли помощью землечерпательной машины, выкачиваніемъ песку помощью струйныхъ аппаратовъ, пневматическимъ способомъ и по способу замораживанія Петча. Въ твердыхъ породахъ колодезныя шахты иногда просверливаются. Всѣ эти способы имѣютъ одну общую черту, а именно, какъ было упомянуто выше, сперва выкапывается яма до уровня грунтовой воды, затѣмъ колодецъ до извѣстной высоты выкладывается на деревянной, снабженной желѣзными рѣзаками, рамѣ или на желѣзной бетонированной рамѣ. Затѣмъ начинается опусканіе колодца сперва путемъ подкапыванія, пока это возможно, а потомъ уже по одному изъ упомянутыхъ способовъ, которые мы разсмотримъ теперь нѣсколько подробнѣе.

Выкапываніе при одновременномъ вычерпываніи воды. Этотъ способъ, упомянутый нами выше, весьма цѣлесообразенъ по своей простотѣ; опусканіе колодца по этому способу слѣдуетъ во всякомъ случаѣ продолжать до тѣхъ поръ, пока возможна откачка воды при сравнительно умѣренныхъ расходахъ. При однородныхъ свойствахъ водоноснаго слоя большей частью оказывается достаточнымъ выкапываніе грунта только въ срединѣ колодца. Рабочіе укладываютъ выкапываемый грунтъ въ бадьи, подымаемыя вверхъ помощью воротовъ [1]).

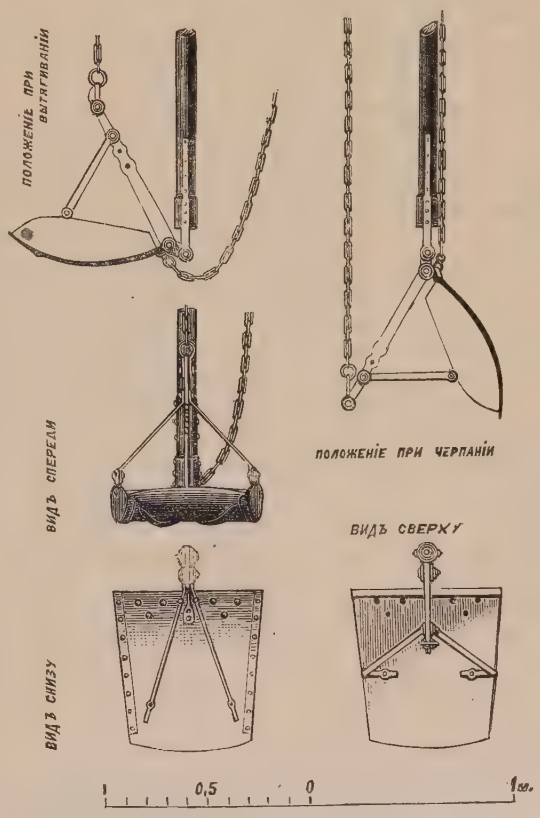
Выкапываніе землечерпательными машинами. При увеличивающейся глубинѣ ямы подъ водой, помимо затрудненія въ откачкѣ воды, является еще довольно опасное для стѣнъ колодца давленіе воды, вслѣдствіе чего весьма раціонально производить подкапываніе колодца вычерпываніемъ земли помощью землечерпательныхъ машинъ, а опусканіе колодца — путемъ искусственной нагрузки. Наиболѣе простымъ, отвѣчающимъ данной цѣли, инструментомъ является черпаковая ручная землечерпательная машина, въ которой черпательный сосудъ, будь это ковшъ, винтъ или буравъ, закрѣпленъ на стержнѣ, приводимомъ въ дѣйствіе отъ руки съ помоста. Земляные или мѣшечные бурава употребляются при весьма слабомъ песчаномъ водоносномъ слоѣ; землечерпательные винты примѣняются въ весьма крупномъ хрящѣ и глинѣ. При среднихъ условіяхъ почвы обыкновенно употребляются такъ называемые индійскіе ковши или черпаки.

На фиг. 164 этотъ ковшъ изображенъ въ различныхъ своихъ положеніяхъ; показанный здѣсь снарядъ съ большимъ удобствомъ примѣнялся при опусканіи сборныхъ колодцевъ

[1]) Подробности объ этомъ способѣ см.: Gerstner, E. „Grossherzogliches Hofwasserwerk zu Karlsruhe“. Karlsruhe. 1871.

діаметромъ 3 метра въ Карлсруэ и Фрейбургѣ. Помощью рычажнаго колѣна ковшъ соединенъ съ деревянной штангой, подымающейся къ рабочей платформѣ, и удерживается двумя цѣпями, изъ коихъ одна направлена къ переднему концу обоймы, приходящейся по срединѣ ковша, а другая у задней стѣнки ковша направлена къ рабочей платформѣ, т. е. къ находящейся на ней лебедкѣ. Помощью этихъ цѣпей порожній ковшъ опускается на дно колодца и приводится въ рабочее положеніе для черпанія; помощью прикрѣпленной къ скобѣ цѣпи ковшъ, послѣ погруженія его въ грунтъ нажиманіемъ на деревянную штангу и по зачерпаніи имъ матеріала, поворачивается и вытягивается назадъ. По поднятіи его на рабочую платформу болты, связывающіе его со штангой, отпускаются, и ковшъ опоражнивается отъ содержащагося въ немъ матеріала. Вычерпываніе постоянно производится у краевъ колодца или колодезной рамы и вокругъ него, такъ что подъ рамой постепенно образуется пустое пространство. Опусканіе колодца затѣмъ происходитъ урывками или толчками подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса колодца и искусственной его нагрузкой, при чемъ обыкновенно замѣчаются весьма незначительныя уклоненія колодца отъ вертикальнаго положенія. Ковшомъ средней длины и шириной 70—80 сант., при слабомъ хрящеватомъ грунтѣ, въ 1 рабочій часъ вычерпывается отъ 0,25 до 0,75 куб. метр. грунта; принимая во вниманіе неизбѣжные перерывы работы, можно принять, что при опусканіи на глубину отъ 5 до 10 метр. ниже уровня грунтовыхъ водъ, какъ это обыкновенно и бываетъ достаточно, ежедневная производительность составляетъ отъ 3 до 4 кубич. метровъ, въ зависимости отъ свойствъ вычерпываемаго матеріала. Отсюда по даннымъ размѣрамъ колодца и принимая во вниманіе спаданіе грунта съ ковшей, благодаря чему вычерпываемая масса, въ сравненіи съ вычисленной по сѣченію колодца и глубинѣ его, увеличивается въ отношеніи 5 : 3, можно приблизительно опредѣлить время, потребное для погруженія даннаго колодца.

Индійскій землечерпательный ковшъ.



Фиг. 164.

Уклоненія отъ вертикальнаго положенія могутъ быть исправлены одностороннимъ подкапываніемъ. Гораздо больше затрудненій встрѣчается въ томъ случаѣ, когда въ водоносномъ слоѣ встрѣчаются напластованія вакки или конгломератовъ, какъ это неоднократно имѣло мѣсто при работахъ во Фрейбургѣ. Раздробленіе матеріала при подобныхъ обстоятельствахъ производится помощью закладки взрывчатыхъ патроновъ. Ежедневный успѣхъ работъ постепенно уменьшается по мѣрѣ увеличенія глубины подъ уровнемъ воды, колеблясь въ слѣдующихъ предѣлахъ: при діаметрѣ колодца въ 3 метра между 0,1 и 0,5 метр. въ рабочій день; въ среднемъ можно принять углубленіе 0,15 до 0,2 метр. въ рабочій день. Такимъ образомъ большей частью для окончательнаго опусканія колодца требуется времени два или болѣе мѣсяцевъ. Возведеніе каменной кладки должно идти параллельно съ погруженіемъ; нагрузка колодца при его погруженіи неизбѣжна и производится обыкновенно накладываніемъ желѣзныхъ полосъ или болванокъ.

Для опусканія очень большихъ колодцевъ примѣняются паровыя землечерпательныя машины; способъ работы немногимъ разнится отъ работы по вычерпыванію песку и хряща при чисткѣ рѣкъ или каналовъ.

Насосы для выкачиванія песку и струйные аппараты. Песчаные насосы и струйные аппараты могутъ быть примѣнены только въ тѣхъ случаяхъ, когда почва содержитъ

въ себѣ весьма мало хряща и, наоборотъ, много мелкаго песку; принципъ этого способа состоитъ въ удаленіи съ подошвы колодца песку, смѣшаннаго съ водой въ полужидкую массу. Тяжелый поршень безъ клапана, движущійся въ открытомъ сверху цилиндрѣ, укрѣпленномъ на снабженномъ клапанами ящикѣ, помощью подъемнаго аппарата опускается на дно колодца и образуетъ собой песочный насосъ. Клапаны въ находящемся подъ цилиндромъ ящикѣ открываются внаружу, такъ что при опусканіи поршня они допускаютъ выходъ воды, а при его подыманіи препятствуютъ поступленію въ него воды. По срединѣ ящика находится достигающая почвы всасывающая труба, оканчивающаяся приблизительно на 0,1 метр. ниже крышки ящика. Насосный поршень очень быстро подымается вверхъ помощью цѣпи, образуя разрѣженное пространство внутри ящика и вызывая притокъ песку и воды къ ящику черезъ всасывающую трубу. Когда затѣмъ поршень подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса медленно опускается назадъ, онъ выдавливаетъ притекшую къ нему воду черезъ клапаны въ ящикѣ, причемъ примѣшанный къ водѣ песокъ осѣдаетъ на дно ящика. Когда послѣ многократныхъ повтореній этой манипуляціи ящикъ заполнится пескомъ, то все приспособленіе подымается вверхъ и опоражнивается, и т. д.

Къ насосамъ этого рода можетъ быть отнесенъ также и такъ называемый пневматическій экскаваторъ Рива [1]). Подобно тому, какъ это дѣлается при примѣняемой въ городахъ пневматической очисткѣ выгребныхъ ямъ, на дно колодца опускаются рукава, концы которыхъ уширяются ввидѣ воронокъ, и которые оканчиваются въ безвоздушномъ ящикѣ. Если взмутить почву дна колодца вокругъ находящагося на немъ коническаго наконечника рукава, то образующаяся полужидкая масса подымается по рукаву въ безвоздушный ящикъ, откуда она отводится дальше. Высота подъема здѣсь ограничена. Подобный этому способу былъ предложенъ въ Англіи Поттомъ въ 1843 году; по послѣднему способу для образованія пустоты опускаются чугунныя, снизу открытыя и сверху закрытыя, колодезныя трубы.

Болѣе удобное въ сравненіи съ описанными приспособленіе представляетъ собой струйный аппаратъ, нашедшій себѣ обширное примѣненіе въ новѣйшее время и доведенный до высокой степени совершенства. Всѣ аппараты этого рода въ сущности устроены такъ, что рабочая жидкость (напорная вода, водяной паръ, сжатый воздухъ и проч.) выступаетъ на дно колодца черезъ небольшія высверленныя у подошвы всасывающей трубы отверстія, энергично взмучивая песокъ и смѣшивая его съ водой въ полужидкую массу, которая затѣмъ откачивается и отводится по принципу инжектора. Это приспособленіе весьма просто по своей установкѣ и уходу за нимъ, работаетъ весьма быстро и дешево и сравнительно недорого по своей стоимости. Чертежи и описанія этихъ приборовъ для каждаго даннаго случая можно получать отъ всякой арматурной и насосной фабрики.

Здѣсь слѣдуетъ упомянуть еще о многихъ другихъ способахъ опусканія колодцевъ въ мелкихъ пескахъ, какъ, напр., сифонный приборъ Лесли, насосная землечерпательная машина, центробѣжная землечерпалка Гуинна и проч.; до нѣкоторой степени сюда относятся также различные способы промывочнаго буренія.

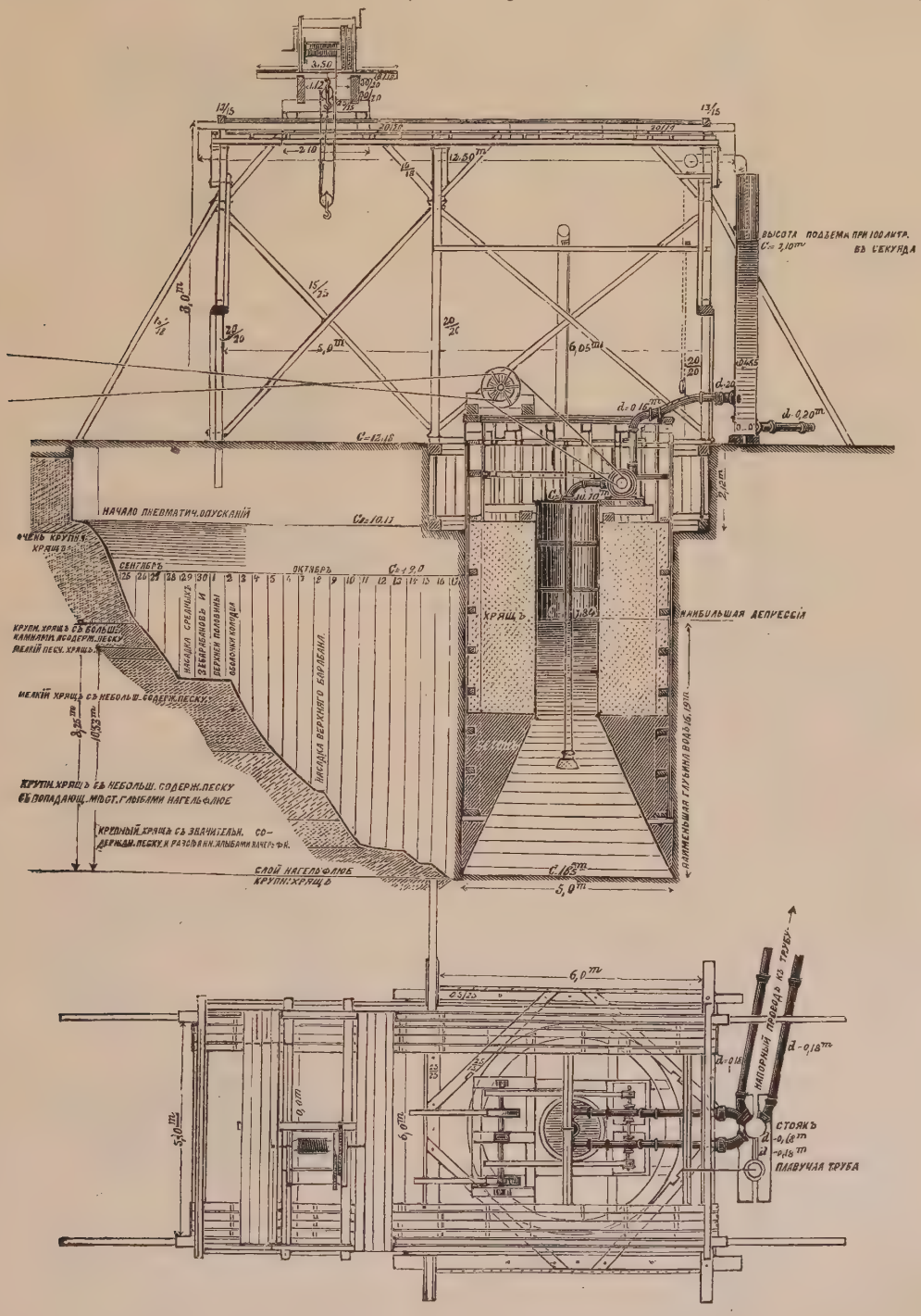
Пневматическое опусканіе колодцевъ. Весьма быстрое и правильное опусканіе колодцевъ достигается помощью сжатаго воздуха. Опыты, произведенные съ воздушными колоколами, показали, что человѣкъ безъ ущерба здоровью можетъ еще работать въ воздухѣ, давленіе котораго въ 2 или 3 раза больше нормальнаго атмосфернаго давленія, такъ какъ избыткомъ давленія въ 2 или 3 атмосферы возможно уравновѣсить столбъ воды высотой въ 20 или 30 метр., то въ предѣлахъ этой глубины помощью сжатаго воздуха можно вытѣснить воду изъ колодца съ непроницаемыми стѣнками.

Полагая, что способы закрыванія и открыванія наполненной сжатымъ воздухомъ камеры, какъ это дѣлается при кессонныхъ работахъ, а также и приспособленія для подыманія черпательнаго ковша и проч. знакомы нашимъ читателямъ, мы на нихъ останавливаться не будемъ. Слѣдуетъ здѣсь еще упомянуть о возможности освѣщенія воздушнаго колокола (кессона) путемъ электричества. Для цѣлей водоснабженія въ послѣднее время, какъ упомянуто выше, пневматическимъ путемъ опускаются очень широкіе буровые колодцы. При этихъ работахъ обыкновенно не требуется кессона. При опусканіи большихъ каменныхъ колодцевъ употребляются кессоны, какъ и при устройствѣ обыкновенныхъ мостовыхъ устоевъ; при этомъ, однако, рекомендуется постепенный переходъ отъ широкаго дна колодца къ болѣе узкой трубѣ, ведущей къ воздушному шлюзу, какъ, напр., коническій переходъ.

---

[1]) Engineering. 1877. II, стр. 99.

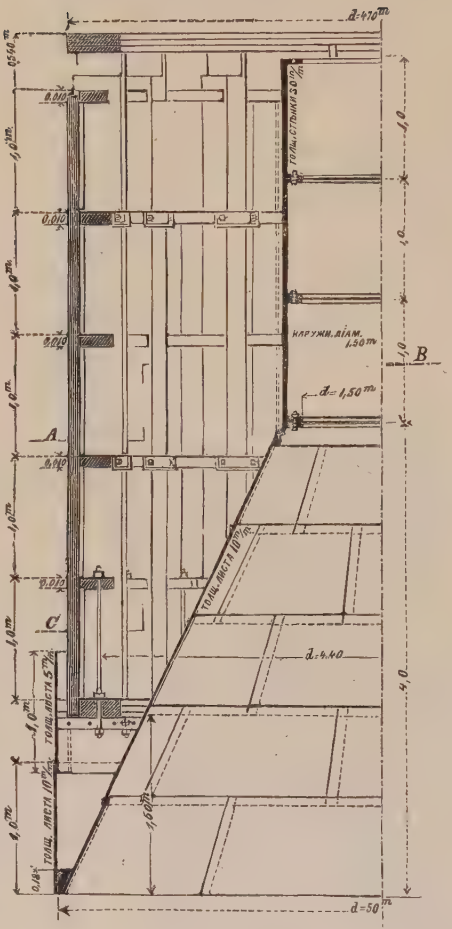
На фиг. 165 и 166 приведенъ примѣръ пневматически опущеннаго колодца водопровода города Базеля; этотъ колодецъ можетъ служить образцомъ въ отношеніи дешевизны и цѣле-



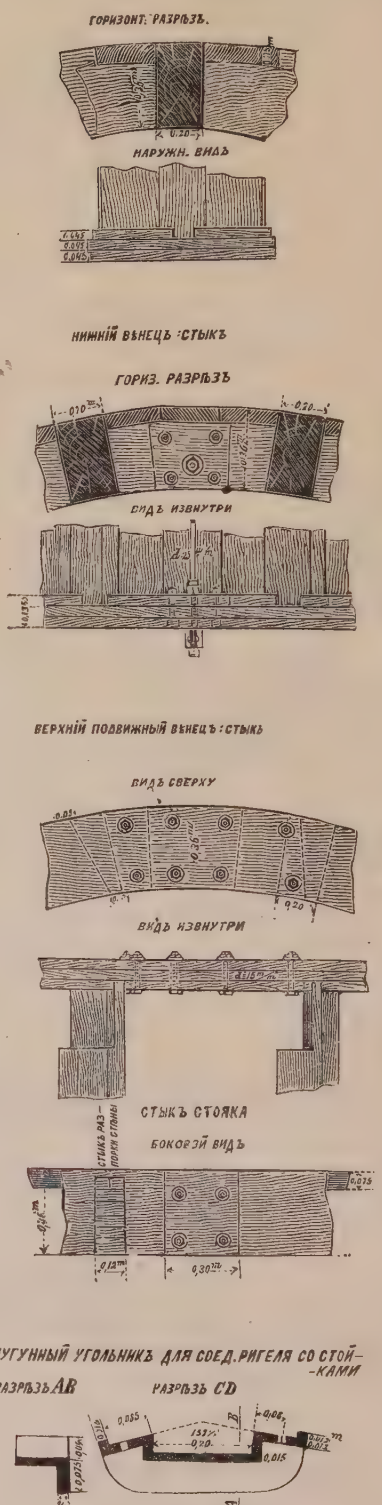
Фиг. 165. Колодецъ грунтовой воды города Базеля.
Масштабъ 1:165 нат. вел.

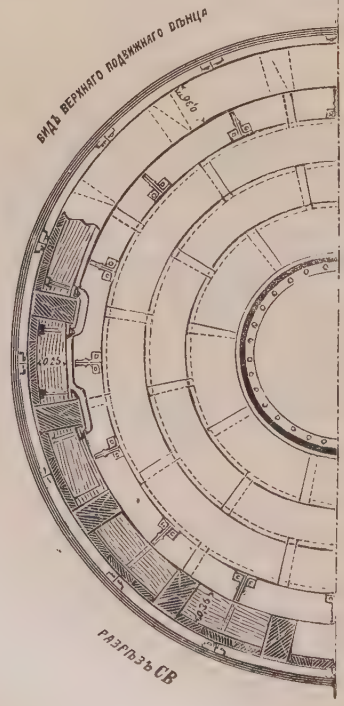
сообразности. Колодецъ у дна имѣетъ діаметръ въ свѣту 5 метр., который усѣченнымъ конусомъ высотою 4 метр. переходитъ въ діаметръ 1,5 метр., и далѣе колодецъ внутри имѣетъ цилиндрическую форму. Внутренняя соприкасающаяся съ водой поверхность сдѣлана

Вертикальный разрѣзъ.



Соединеніе нижняго вѣнца со стояками.





Фиг. 166. Колодецъ грунтовой воды гор. Базеля. Масштабъ для верт. разрѣза и плана 1:60, деталей 1:30.

изъ желѣза, при чемъ верхняя цилиндрическая часть колодца сдѣлана изъ чугуна, а нижняя коническая — изъ желѣза. Снаружи колодецъ на высотѣ 2 метр. снабженъ кожухомъ изъ листоваго желѣза (желѣзнымъ башмакомъ); отъ этого мѣста вверхъ идутъ деревянныя стѣнки колодца. До высоты желѣзнаго конуса пространство между наружнымъ деревяннымъ кожухомъ и желѣзнымъ конусомъ заполнено бетономъ. Выше конуса пространство между внутреннимъ колодезнымъ цилиндромъ и наружной деревянной обшивкой заполнено хрящомъ.

На фиг. 165 изображены также результаты испытаній, произведенныхъ въ свое время надъ откачкой колодца. Слѣдуетъ здѣсь замѣтить, что колодецъ можетъ доставлять 100 литр. въ секунду, но обыкновенно работаетъ съ половиной полной своей производительности.

Пневматическій способъ погруженія былъ примѣненъ потому, что пробное буреніе показало болѣе или менѣе обширное залеганіе въ подпочвѣ слоевъ различныхъ конгломератовъ, которые не могли бы быть извлечены на дневную поверхность путемъ выкапыванія или вычерпыванія безъ предварительнаго ихъ раздробленія взрывными патронами. На фиг. 166 приведены чертежи различныхъ деталей колодца, не требующіе дальнѣйшихъ поясненій. Слѣдуетъ только прибавить, что при большой массѣ заполняющаго колодецъ матеріала опусканіе производилось безъ особенно сильной нагрузки наружныхъ стѣнъ колодца. Успѣхъ погруженія графически показанъ на фиг. 165.

Опусканіе колодцевъ по способу замораживанія Петша. Петшъ въ Магдебургѣ взялъ патентъ на способъ довольно быстраго и правильнаго погруженія колодезной шахты на значительную глубину въ наносный песокъ [1]). Помощью льдодѣлательной машины температура понижается до —25° С. и сообщается хлористомагніевой или хлористокальціевой щелочи, температура замерзанія которой составляетъ только —40° С. Вокругъ шахты устанавливается рядъ трубъ діам. внутри около 20 сантим., плотно закрытыхъ внизу, послѣ ихъ погруженія въ почву; вовнутрь этихъ трубъ опускаются другія трубы меньшаго діаметра, снабженныя внизу боковыми отверстіями. Послѣднія трубы служатъ для провода упомянутой холодной щелочи, которая устремляется по большой трубѣ къ холодильнику и такимъ образомъ заимствуетъ теплоту отъ почвы. При этомъ послѣдняя, образующая съ водой полужидкую массу, замерзаетъ настолько крѣпко, что въ нее легко углубляться и закрѣплять ее безъ опасенія прорыва плывучихъ песковъ. Оттаиваніе замерзшей массы при углубленіи въ нее значительно облегчается притокомъ струи теплаго воздуха.

Этотъ способъ оказался въ практикѣ весьма удачнымъ, но слишкомъ дорогимъ. При опусканіи колодцевъ для водоснабженія этотъ способъ употребляется весьма рѣдко, такъ какъ въ наносномъ пескѣ не устраиваются очень широкіе колодцы, а трубчатые колодцы погружаются другими болѣе дешевыми способами.

Буреніе колодезныхъ шахтъ. Буреніе широкихъ колодезныхъ шахтъ (діаметръ до нѣсколькихъ метровъ) представляетъ собой работу, относящуюся къ области горнаго искусства, и производится въ тѣхъ случаяхъ, когда описанные другіе способы оказываются непримѣнимыми, т. е. преимущественно въ твердыхъ породахъ. Первыя подобныя работы выполнены Киндерманномъ [2]), а затѣмъ этотъ способъ былъ усовершенствованъ Киндомъ [3]). Сущность шахтнаго буренія состоитъ въ томъ, что на концѣ вертикальной подвѣшенной штанги расположены горизонтальныя колѣна, на которыхъ укрѣплены бурильные аппараты. При очень твердыхъ породахъ къ штангѣ прикрѣплены долота, которыя работаютъ при подыманіи и паденіи штанги, раздробляя дно шахты на извѣстную глубину; при болѣе слабыхъ породахъ къ горизонтальнымъ колѣнамъ прикрѣпляются ножи, которые при вращеніи штанги срѣзываютъ или соскабливаютъ дно шахты, углубляя ее такимъ образомъ. Въ обоихъ случаяхъ буровая мука поднимается помощью обыкновенной желонки. Стоимость подобнаго буренія весьма значительна, и къ ней весьма рѣдко приходится прибѣгать для цѣлей водоснабженія. Расширеніе буровыхъ скважинъ въ шахты въ сухихъ твердыхъ породахъ, какъ это иногда требуется для помѣщенія насосовъ, производится гораздо дешевле обыкновенной откопкой или взрывной работой.

По патентованному способу Гассе шахта образуется помощью ряда расположенныхъ другъ возлѣ друга трубъ въ видѣ шпунтовой стѣнки. Наконецъ, здѣсь необходимо замѣтить, что при всѣхъ работахъ по опусканію колодцевъ болѣе или менѣе часто требуются также и

---

[1]) Pœtsch, F. H. „Das Gefrierverfahren“. Freiberg 1886 и „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“ 1884 г., т. 28, стр. 210, 543.

[2]) „Ueber das Bohren von Schächten“. „Polytechnisches Centralblatt“ 1850 г., стр. 1167.

[3]) Kind. „Erdbohrer für weite Schächte“. „Polytechnisches Centralblatt“ 1852 г., стр. 659.

водолазныя работы для добыванія теряемыхъ инструментовъ, для устраненія особыхъ встрѣчаемыхъ препятствій, или же для общаго оріентированія относительно свойствъ дна колодца Плата, производимая за подобную работу, включая наемъ снастей и проч., составляетъ для хорошаго водолаза съ помощникомъ около 40 до 50 марокъ (20—25 рублей) въ день. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ холодная вода сильно мѣшаетъ работѣ водолаза; тогда большей частью оказывается неизбѣжнымъ подогрѣваніе воды помощью впускаемаго пара.

Что касается кладки стѣнъ колодцевъ, то, какъ было упомянуто выше, здѣсь необходимо различать проницаемую стѣнку колодца отъ непроницаемой. Фильтровые колодцы, состоящіе изъ концентрическихъ колецъ изъ водопроницаемыхъ камней (пористыхъ камней) съ промежуточнымъ заполненіемъ, правильно перемежающихся съ кольцами изъ непроницаемыхъ камней, даже при незначительныхъ діаметрахъ, имѣютъ толщину стѣнокъ въ 0,9 метр. и болѣе; въ колодцахъ съ непроницаемыми оболочками толщина стѣнокъ зависитъ отъ діаметра колодца. Вполнѣ достаточныя величины толщины стѣнокъ δ для различныхъ діаметровъ d приведены въ слѣдующей таблицѣ.

Діаметръ въ свѣту d метр.	Толщина стѣнки δ метр.	Діаметръ въ свѣту d метр.	Толщина стѣнки δ метр.	Діаметръ въ свѣту d метр.	Толщина стѣнки δ метр.
1,00	0,180	3,00	0,510	6,00	0,750
1,50	0,250	3,50	0,510	7,00	0,750
2,00	0,380	4,00	0,640	8,00	0,880
2,50	0,380	5,00	0,640	9,00	0,880

Для увеличенія устойчивости сооруженія часто нижнія выложенныя кольца соединяются связями съ нижней рамой и съ промежуточными связями. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для лучшаго опусканія колодца ему придается нѣсколько коническая форма снаружи; при значительныхъ діаметрахъ колодцевъ этимъ достигаются значительныя преимущества. Для кирпичной кладки долженъ быть употребленъ хорошо выжженный плотный кирпичъ и растворъ изъ портландскаго цемента; если же колодецъ устраивается съ проницаемыми стѣнками, то кладка производится изъ тесаныхъ камней съ открытыми швами, какъ, напр., это устроено въ Фрейбергѣ и Карлсруэ. Каменная кладка колодца должна идти параллельно его погруженію, при чемъ растворъ долженъ вполнѣ затвердѣть до опусканія его въ воду. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ устраиваются бетонные колодцы и колодцы такъ называемой системы Монье. Послѣдніе колодцы имѣютъ незначительныя толщины стѣнокъ, и вслѣдствіе большой своей сопротивляемости ударамъ и гладкой наружной поверхности они несомнѣнно найдутъ себѣ обширное примѣненіе, преимущественно по окончаніи срока привиллегіи, когда они сдѣлаются дешевле, чѣмъ теперь. Каменные колодцы устраиваются также по системѣ Донне, въ которой поступленіе воды изъ водоноснаго слоя въ колодецъ облегчается помощью пространства съ разрѣженнымъ воздухомъ и особымъ образомъ устроенныхъ всасывающихъ приспособленій. Какъ уже упомянуто выше, въ нормальныхъ случаяхъ эта система не имѣетъ никакихъ особыхъ преимуществъ. Здѣсь неизбѣжны особыя мѣры для предупрежденія заплыванія песку въ разрѣженное пространство всасывающей камеры. Примѣненіе этой

системы оправдывается въ тѣхъ случаяхъ, когда углубленіе колодца оказывается невозможнымъ, или когда требуемый болѣе сильный притокъ не можетъ быть достигнутъ однимъ только пониженіемъ уровня колодца.

Что касается стоимости каменныхъ колодцевъ, то необходимо отдѣлить стоимость работы отъ стоимости матеріаловъ и проч., а также и отъ стоимости откачки воды. Обыкновенно въ случаѣ небольшихъ колодцевъ, устраиваемыхъ путемъ ручной откопки или ручного вычерпыванія земли, колодезный мастеръ беретъ на себя работу кладки стѣнъ колодца изъ доставляемыхъ ему готовыхъ матеріаловъ, при готовой нижней рамѣ, лѣсахъ, подмосткахъ и т. д. Вслѣдствіе возростающей стоимости поднятія матеріаловъ съ увеличеніемъ глубины, общая стоимость оказывается не пропорціональной глубинѣ, а возростаетъ съ увеличеніемъ глубины колодца.

Законъ увеличенія стоимости при небольшихъ колодцахъ найденъ Готтенротомъ [1]). Въ слѣдующей таблицѣ приведена стоимость работы, опубликованная хорошимъ колодезнымъ мастеромъ (Ангеромъ въ Нордгаузенѣ) и соотвѣтствующая закону Готтенрота; въ означенныя цѣны входятъ: выкопка ямы, укрѣпленіе ея въ случаѣ надобности, исполненіе каменной кладки изъ обожженныхъ кирпичей или притесанныхъ камней на сухо или на цементномъ растворѣ, со всѣми приспособленіями на 1 погонный метръ глубины и на 1 кв. метръ площади дна колодца.

Надъ уровнемъ воды.		Подъ уровнемъ воды.	
Въглинистомъ и хрящеватомъ или песчаномъ слояхъ.	Въ валунахъ или скалистыхъ слояхъ.	Въ глинистомъ и хрящеватомъ или песчаныхъ слояхъ.	Въ валунахъ или скалистыхъ слояхъ.
До глуб. 3 м. 9—12 мар.	До глуб. 3 м. 12—24 мар.	До глуб. 3 м. 13,50—20 мар.	До глуб. 3 м. 15—30 мар.
„ „ 6 „ 12—15 „	„ „ 6 „ 15—30 „	„ „ 6 „ 16,50—23 „	„ „ 6 „ 18—36 „
„ „ 9 „ 15—18 „	„ „ 9 „ 18—36 „	„ „ 9 „ 19,50—26 „	„ „ 9 „ 21—42 „
„ „ 12 „ 18—21 „	„ „ 12 „ 21—42 „	„ „ 12 „ 22,50—29 „	„ „ 12 „ 24—48 „
„ „ 15 „ 21—24 „	„ „ 15 „ 24—48 „	„ „ 15 „ 25,50—32 „	„ „ 15 „ 27—54 „
„ „ 18 „ 24—27 „	„ „ 18 „ 2 —54 „	„ „ 18 „ 28,50—35 „	„ „ 18 „ 30—60 „
„ „ 21 „ 27—30 „	„ „ 21 „ 30—60 „	„ „ 21 „ 31,50—38 „	„ „ 21 „ 33—66 „
„ „ 24 „ 30—33 „	„ „ 24 „ 33—66 „	„ „ 24 „ 34,50—41 „	„ „ 24 „ 36—72 „
„ „ 27 „ 33—36 „	„ „ 27 „ 36—72 „	„ „ 27 „ 37,50—44 „	„ „ 27 „ 39—78 „
„ „ 30 „ 36—39 „	„ „ 30 „ 39—78 „	„ „ 30 „ 40,50—47 „	„ „ 30 „ 42—84 „
„ „ 33 „ 39—42 „	„ „ 33 „ 42—84 „	„ „ 33 „ 43,50—50 „	„ „ 33 „ 45—90 „
„ „ 36 „ 42—45 „	„ „ 36 „ 45—90 „	„ „ 36 „ 46,50—53 „	„ „ 36 „ 48—96 „
„ „ 39 „ 45—48 „	„ „ 39 „ 48—96 „	„ „ 39 „ 49,50—56 „	„ „ 39 „ 51—102 „
или $k = 6{,}00 + h$	или $k = 9{,}00 + h$	или $k = 10{,}50 + h$	или $k = 12{,}00 + h$
до $k = 9{,}00 + h$	до $k = 18{,}00 + 2h$	до $k = 16{,}50 + h$	до $k = 24{,}00 + 2h$

[1]) Ueber das Gesetz der Kostenzunahme mit wachsender Tiefe bei Ausführung von Brunnen. Zeitschr. f. Baukunde. 1880 г., т. 3, стр. 395.

Въ общемъ отсюда получается общая стоимость A для колодца глубиной h и діаметромъ r:

$$A = \pi r^2 (a h + b h^2).$$

Стоимость провоза, разъѣздовъ, заготовленія матеріаловъ для скрѣпленій и для кладки, отчужденія земли на пространствѣ около 10 метр. вокругъ колодца, а также и заготовленія водоотливныхъ машинъ въ случаѣ надобности должна быть исчислена отдѣльно.

Расходы по заготовленію строительныхъ матеріаловъ, нижней рамы и проч. зависятъ отъ мѣстныхъ условій, и опредѣленіе ихъ въ каждомъ данномъ случаѣ не представляетъ собой никакихъ затрудненій. Наибольшая стоимость кубич. метра колодезной кладки изъ кирпича на цементномъ растворѣ составляетъ отъ 35 до 40 марокъ (17,5—20 руб.); стоимость колодцевъ изъ тесаныхъ камней въ 2 или 3 раза больше.

Стоимость откачки воды, естественно, бываетъ весьма различна въ зависимости отъ количества подымаемой воды. Обыкновенно можно принять расходы по откачкѣ воды, если работа по откопкѣ не производится вручную, приблизительно отъ 40 до 50 марокъ (20—25 рублей) въ день.

Во всякомъ случаѣ на мѣстѣ устройства колодца безусловно необходимо пробное буреніе; опытъ показываетъ, какъ было замѣчено выше, что состояніе подпочвы въ двухъ непосредственно сосѣднихъ мѣстахъ бываетъ различно, и пробныя буренія, произведенныя на разстояніи 10—20 метр. отъ оси устраиваемаго колодца, иногда ведутъ къ крупнымъ ошибкамъ.

Выше мы упомянули, что чугунные трубные колодцы изготовляются строительной длиной въ 4 метра и діаметр. до 1,20 метр. Во многихъ мѣстахъ установлены колодцы значительно большихъ діаметровъ, состоящіе изъ отдѣльныхъ чугунныхъ колецъ (сист. Шодронъ) Мы полагаемъ, что для цѣлей водоснабженія каменные колодцы должны предпочитаться чугуннымъ, такъ какъ они не подвержены ржавленію, а стоимость ихъ немногимъ только выше, а иногда даже и ниже чугунныхъ.

Артезіанскіе колодцы. Артезіанскіе колодцы въ сущности отличаются отъ описанныхъ нами трубчатыхъ колодцевъ только тѣмъ, что они даютъ воду, постоянно изливающуюся выше поверхности почвы (бьющіе ключи), между тѣмъ какъ въ трубчатомъ колодцѣ уровень воды при ненарушенномъ состояніи равновѣсія всегда находится ниже поверхности земли. Артезіанскіе колодцы всегда должны имѣть своимъ происхожденіемъ артезіанскій потокъ; но, съ другой стороны, нѣтъ никакой необходимости принимать, что каждый артезіанскій потокъ долженъ имѣть такое внутреннее давленіе, при которомъ вода подымается выше почвы къ свободному ея истоку. Многіе изъ такъ называемыхъ обыкновенныхъ колодцевъ заимствуютъ свою воду изъ артезіанскихъ потоковъ. Происхожденіе и теченіе артезіанскаго потока теоретически разсмотрѣно нами выше, преимущественно въ отношеніи притока къ колодцамъ.

Опредѣляя постоянную C въ ур. 8) (см. гл. 6) по соотвѣтствующимъ значеніямъ $z = H_0$ и $x = R$, получаемъ уравненія:

$$1)\ z = H_0 - \frac{Q}{2\pi\varphi k a} \text{ lg. nat. } \left(\frac{R}{x}\right); \qquad 2)\ Q = \frac{2\pi\varphi k a}{\text{lg. nat. } \left(\frac{R}{r}\right)} s,$$

гдѣ буквы имѣютъ вышеприведенныя значенія.

При предыдущихъ нашихъ вычисленіяхъ мы пренебрегли сопротивленіями поступленію воды въ подъемную трубу артезіанскаго колодца. При діаметрѣ этой трубы $2r$, расходѣ воды Q и при томъ условіи, что скорость поступленія u_0 изъ грунтоваго потока очень мала, это сопротивленіе, измѣряемое потерей напора, будетъ:

$$3)\ \zeta_1 \simeq \nu \frac{u^2 - u_0^2}{2g} = \sim \nu \frac{u^2}{2g} = \frac{\nu Q^2}{2\pi^2 g r^4} = m_1 Q^2,$$

такъ какъ средняя скорость воды въ подъемной трубѣ составляетъ $u = \frac{Q}{\pi r^2}$.

Для преодолѣнія тренія воды о стѣнки трубы требуется дальнѣйшая потеря напора, которая, какъ извѣстно изъ гидравлики (см. также отд. IV, гл. 16), составляетъ:

$$4)\ \zeta_2 = \frac{\lambda\, Q^2 (H_0 - s)}{32\, r^5} = (H_0 - s)\, m_2\, Q^2\ ,$$

гдѣ $H_0 - s$ предположена равной длинѣ пути, проходимаго водой по подъемной трубѣ.

Наконецъ, подымающаяся выше поверхности почвы артезіанская вода должна преодолѣвать сопротивленія, происходящія при самомъ истокѣ и выражающіяся нѣкоторой потерей напора ζ_3, которая можетъ быть принята пропорціональной квадрату скорости истеченія и нѣкоторому отдѣльному, для каждаго даннаго случая, коэффиціенту пропорціональности. Такимъ образомъ

$$5)\ \zeta_3 = \mu\, u^2 = \frac{\mu\, Q^2}{\pi^2\, r^4} = m_3\, Q^2\ .$$

Опредѣляя точно пониженіе уровня, мы получаемъ

$$6)\ s = \frac{Q \text{ lg. nat.} \left(\frac{R}{r}\right)}{2\,\pi\,\varphi\, k\, a} + [m_1 + (H_0 - s)\, m_2 + m_3]\, Q^2\ ,$$

или же приблизительно, подставивъ вмѣсто $H_0 - s$ какую-нибудь постоянную среднюю величину, получаемъ:

$$7)\ s = n\, Q + m\, Q^2,$$

гдѣ численныя значенія величинъ n и m опредѣляются изъ предыдущаго уравненія.

Толщина слоя переливающейся выше верхняго конца трубы воды не входитъ въ наши вычисленія, такъ какъ пониженіе уровня всегда измѣряется отъ верхняго конца трубы.

Изъ ур. 7) получаемъ:

$$8)\ Q = \sqrt{\frac{s}{m} + \frac{n^2}{4\, m^2}} - \frac{n}{2m}\ .$$

Если выпускное отверстіе обсадной трубы занимаетъ неизмѣнное положеніе, то при всѣхъ обстоятельствахъ пониженіе s и коэффиціентъ m будутъ имѣть постоянныя величины относительно Q. Если же при одинаковой высотѣ истеченія измѣняется величина Q, то это измѣненіе можетъ произойти только отъ измѣненія величины n. Но величина

$$n = \frac{\text{lg. nat.} \left(\frac{R}{r}\right)}{2\,\pi\,\varphi\, k\, a}\ ,$$

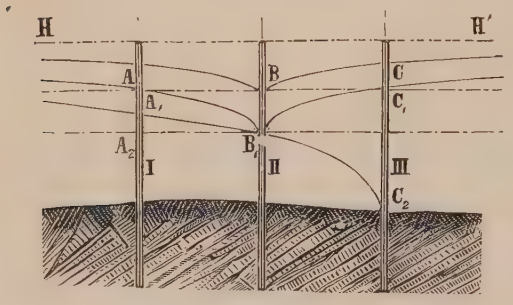
и въ этомъ выраженіи можетъ измѣняться только одна величина, а именно значеніе R.

Если депрессіонная поверхность поднимается, то при этомъ уменьшается величина R, т. е. разстояніе отъ оси колодца, на которомъ уровень воды находится на постоянной высотѣ H_0 отъ непроницаемаго слоя, а вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается также и n; точно такъ же и обратно—съ увеличеніемъ R увеличивается также и n. Но поднятіе депрессіонной поверхности можетъ только произойти тогда, когда уровень воды, обусловливающій собой артезіанскій потокъ, повышается, что въ свою очередь вызывается болѣе обильнымъ притокомъ воды къ инфильтраціонной области; пониженіе происходитъ естественнымъ путемъ при отсутствіи притока инфильтрацій, т. е. при расходованіи запасовъ грунтоваго резервуара. При неизмѣняющемся s одновременно съ этимъ происходитъ увеличеніе или уменьшеніе количества воды [1]).

Если въ какой-нибудь сосѣдней обсадной трубѣ произведено искусственное пониженіе депрессіонной поверхности (путемъ расхода воды), то это пониженіе одновременно вліяетъ и

[1]) Случай уменьшенія количества истока вслѣдствіе образованія песчаной пробки въ опущенномъ въ водоносный слой концѣ трубы, само собой разумѣется, слѣдуетъ разсматривать вышеуказаннымъ (см. гл. 7) путемъ. При подобныхъ обстоятельствахъ повышеніе и пониженіе уровня въ сосѣдней обсадной трубѣ не находится въ разсматриваемой тамъ зависимости.

на производительность артезіанскаго колодца, которая при этомъ уменьшается. Такъ, напр. колодецъ II (фиг. 167) съ положеніемъ уровня B и депрессіонной линіей AB, BC будетъ доставлять количество воды Q до тѣхъ поръ, пока изъ колодцевъ I и III не производится расхода воды. Если изъ скважинъ I и III заимствуется вода въ какомъ нибудь мѣстѣ, расположенномъ между AA_1, CC_1, то этимъ уменьшится притокъ въ B; послѣдній окончательно прекратится, если заимствованіе воды изъ этихъ колодцевъ будетъ происходить въ A_1 и C_1. Затѣмъ расположеніемъ истока колодца II въ B_1 можно уничтожить истеченіе въ A_1 и C_1; истеченіе изъ B_1 въ свою очередь можетъ быть прекращено расходомъ воды изъ скважины III въ C_2 и т. д. Такимъ образомъ соотвѣтственнымъ углубленіемъ мѣста истока въ одномъ изъ трехъ колодцевъ I, II и III всегда возможно прекратить истокъ изъ остальныхъ. Обратно, закрываніемъ истока изъ одного колодца можно увеличить истокъ изъ другихъ.



Фиг. 167. Депрессіонныя линіи артезіанскихъ колодцевъ.

Взаимное вліяніе артезіанскихъ колодцевъ простирается на весьма значительныя протяженія. Артезіанскій колодецъ въ Гренеллѣ (Парижъ), находящійся на разстояніи около 3 километр. отъ колодца въ Пасси (Парижъ) и дѣйствующій съ 1842 года, при постоянной высотѣ истока въ 72,7 метр. надъ уровнемъ моря, доставлялъ одинаковое количество воды 907 куб. метр. въ сутки, какъ въ необыкновенно сухіе годы 1857—1859, такъ и въ весьма дождливомъ 1860 году. Въ 1861 году 24 Сентября въ тотъ же артезіанскій потокъ была углублена артезіанская скважина въ Пасси; тогда количество воды изъ Гренельской скважины измѣнилось слѣдующимъ образомъ:

25 Сентября 1861 г. 806 куб. метр.; 26 Сентября 1861 г. 778 куб. метр.; 27 Сентября 1861 г. 720 куб. метр.; 3 Октября 1861 г. 634 куб. метр.; 12 Октября 1861 г. 605 куб. метр.; 31 Октября 1861 г. 634 куб. метр.; 1 Ноября 1861 г. 648 куб. метр.; 3 Ноября 1861 г. 662 куб. метр.

Съ того времени производительность Гренелльскаго колодца осталась въ зависимости отъ скважины въ Пасси: она понижается при усиленіи истока изъ послѣдней и увеличивается при ослабленіи притока изъ нея, въ зависимости отъ расположенія выпускного отверстія въ томъ или другомъ мѣстѣ [1]).

Въ предыдущей главѣ нами приведенъ способъ опредѣленія количества воды, протекающей по грунтовому потоку, по наблюденіямъ надъ колодцемъ и нѣкоторыми буровыми скважинами. Этотъ способъ находитъ себѣ примѣненіе и для артезіанскихъ колодцевъ. Подобнымъ же образомъ, путемъ правильно производимыхъ измѣреній количествъ воды и уровней ея въ одной скважинѣ, можно опредѣлить водоносность, что весьма важно при относительно незначительныхъ артезіанскихъ потокахъ.

Въ видѣ примѣра приведемъ здѣсь артезіанскіе колодцы въ Констанцѣ, происхожденіе которыхъ можетъ быть объяснено изображеннымъ на фиг. 147 путемъ. Мы еще разъ вернемся къ этому предмету. Автору была предложена задача объ опредѣленіи ихъ производительности; этотъ вопросъ былъ рѣшенъ путемъ сравненія уровня воды въ колодцѣ, сосѣднемъ съ изслѣдуемымъ колодцемъ, и уровня независимой отъ артезіанскаго потока грунтовой воды въ той же области (въ колодцѣ на гарнизонномъ стрѣльбищѣ). Наблюденія производились въ теченіе почти 6 лѣтъ, и результаты ихъ приведены въ слѣдующей таблицѣ.

[1]) Belgrand, M. Les travaux souterrains de Paris. 1882.

Время.		Среднее расходуемое количество воды въ литрахъ въ секунду.	Уровень воды въ наблюдаемомъ колодцѣ въ концѣ.	Независимый уровень воды въ концѣ.	Время.		Среднее расходуемое количество воды въ литрахъ въ секунду.	Уровень воды въ наблюдаемомъ колодцѣ въ концѣ.	Независимый уровень воды въ концѣ.
Годъ.	Мѣсяцъ.				Годъ.	Мѣсяцъ.			
1882	Январь . .	25,3	404,62	418,20		Іюль	11,1	404,86	418,35
	Февраль .	25,6	404,42	418,18		Августъ .	10,5	404,83	—
	Мартъ. . .	25,0	404,26	418,18		Сентябрь.	9,7	404,81	—
	Апрѣль . .	20,7	404,15	418,24		Октябрь .	10,0	404,77	—
	Май	20,7	404,03	418,26		Ноябрь . .	7,3	404,80	—
	Іюнь	15,9	404,04	418,28		Декабрь .	5,8	404,83	—
	Іюль	20,7	403,99	418,63	1885	Январь . .	7,2	404,85	418,30
	Августъ .	16,9	404,45	—		Февраль .	5,0	404,95	—
	Сентябрь.	4,1	404,71	—		Мартъ. . .	3,3	405,17	—
	Октябрь .	11,2	405,05	—		Апрѣль . .	5,5	405,25	—
	Ноябрь . .	19,2	405,12	—		Май	4,5	405,34	—
	Декабрь .	24,8	405,13	—		Іюнь, . . .	6,7	405,36	—
1883	Январь . .	27,6	405,12	418,00		Іюль	8,2	405,33	—
	Февраль .	22,1	405,12	—		Августъ .	9,6	405,23	—
	Мартъ. . .	22,2	405,08	—		Сентябрь.	8,1	405,18	418,40
	Апрѣль . .	19,3	405,07	—		Октябрь .	5,5	405,31	—
	Май	17,1	405,03	418,00		Ноябрь . .	5,5	405,40	—
	Іюнь	15,8	405,02	—		Декабрь .	4,3	405,58	—
	Іюль	14,7	405,00	—	1886	Январь . .	4,1	405,79	418,35
	Августъ .	13,5	404,99	—		Февраль .	4,2	405,90	—
	Сентябрь.	11,8	404,97	417,98		Мартъ. . .	4,3	406,10	—
	Октябрь .	9,3	404,95	—		Апрѣль . .	4,2	406,25	—
	Ноябрь . .	8,6	404,95	—		Май	5,4	406,31	—
	Декабрь .	8,4	404,95	—		Іюнь	5,1	406,40	—
1884	Январь . .	9,4	404,95	418,00		Іюль . . . ,	6,7	406,44	418,30
	Февраль .	9,3	404,96	—		Августъ .	7,4	406,52	—
	Мартъ. . .	9,7	404,95	—		Сентябрь.	7,0	406,57	—
	Апрѣль . .	10,2	404,92	—		Октябрь .	6,9	406,54	—
	Май	10,7	404,90	—		Ноябрь . .	6,2	406,54	—
	Іюнь	9,9	404,87	—		Декабрь .	5,7	406,54	—

Первоначальная высота поднятія воды въ артезіанскомъ колодцѣ непосредственно послѣ пробуренія составляла 406,50 метр.; эта высота временами опять достигалась только въ послѣднее время при небольшомъ расходѣ (около 6 до 8 литр. въ секунду).

Изъ этой таблицы мы видимъ:

Что въ 1882 году уровень воды въ наблюдаемомъ колодцѣ съ 404,75 (въ началѣ Января) поднялся до 405,13 метр., т. е. на 0,38 метр., между тѣмъ какъ среднее повышеніе уровня воды въ колодцѣ на гарнизонномъ полѣ было меньше. При этомъ заимствованное въ теченіе этого года изъ артезіанскаго потока количество воды въ 19,6 литр. въ секунду было меньше средней его водоносности. Такъ какъ въ концѣ Мая и концѣ Іюля въ наблюдаемомъ колодцѣ обнаружились максимумы пониженія уровня воды, т. е. точки поворота (переходъ отъ пониженія къ повышенію), которыя могли произойти исключительно только отъ сперва увеличившагося, а потомъ уменьшившагося расхода воды, и такъ какъ въ это время независимый уровень грунтовой воды находился въ періодѣ безпрерывнаго повышенія, то соотвѣтствующіе этой точкѣ поворота расходы (см. таблицу) должны быть въ точности равны количеству воды, протекавшей по грунтовому потоку.

Въ 1883 году количество воды, заимствованной изъ артезіанскаго потока, было больше притока, такъ какъ уровень въ наблюдаемомъ колодцѣ понизился съ 405,13 метр. до 404,95 метр., т. е. на 0,18 метр., между тѣмъ какъ уровень воды колодца на гарнизонномъ полѣ въ среднемъ не обнаружилъ никакихъ существенныхъ измѣненій. Такимъ образомъ, въ теченіе этого года артезіанскій потокъ давалъ меньше 15,8 литра въ секунду. Съ Ноября до конца Декабря уровень независимой грунтовой воды оставался безъ измѣненія, а вмѣстѣ съ тѣмъ и уровень воды въ наблюдаемомъ колодцѣ оставался постояннымъ, будучи выше до и послѣ этого періода; отсюда водоносность артезіанскаго потока равна количествамъ воды, доставленной въ теченіе Ноября и Декабря, а именно отъ 8,4 до 8,6 литр. въ секунду.

Въ 1884 году въ концѣ Октября обнаружилась точка поворота и пониженіе уровня воды въ наблюдаемомъ колодцѣ на 0,12 метр., при чемъ уровень воды въ независимомъ колодцѣ повысился. Такимъ образомъ водоносность потока составляла около 9,5 литр. въ секунду, а во время точки поворота около 10 литр. въ секунду.

Въ 1885 году уровень воды въ наблюдаемомъ колодцѣ повысился съ 404,83 до 405,58 метра, т. е. на 0,75 метра; уровень же независимаго грунтоваго потока повысился только на нѣсколько сантиметровъ. Отсюда ясно, что въ теченіе этого года артезіанскій потокъ доставлялъ больше воды, нежели отъ него заимствовалось, т. е. больше 6,2 литра въ секунду. Въ концѣ Сентября обнаруживается максимумъ пониженія, т. е. точка поворота; въ это время потокъ доставлялъ около 8 литровъ воды въ секунду.

Дальнѣйшіе максимумы пониженія съ тѣхъ поръ не обнаруживались; расходъ воды оставался постоянно меньше количества воды, доставляемой потокомъ.

Съ Октября 1882 года до Марта 1885 года уровень воды въ наблюдаемомъ колодцѣ въ среднемъ былъ равенъ начальному его положенію (404,93 метр.). Съ этимъ періодомъ въ 29 мѣсяцевъ совпадало наивысшее стояніе горизонта грунтовыхъ водъ, вызванное необычайно дождливымъ 1882-мъ годомъ. Среднее количество израсходованной воды составляло 12,8 литра въ секунду; такъ какъ, несмотря на обильныя инфильтраціи въ почву, уровень воды не повысился, то вполнѣ правильно было заключить, что въ нормальное время водоносность потока бываетъ меньше. Такъ какъ въ теченіе сухого 1885 года констатировано количество воды въ потокѣ 8 литровъ въ секунду, то можно принять, что нормальная водоносность потока колеблется между этими двумя предѣлами [1]).

Какъ на результатъ этихъ и имъ подобныхъ опытовъ мы здѣсь можемъ указать, что въ формулахъ 7) и 8) величина n ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть a priori разсматриваема, какъ величина постоянная; она весьма часто измѣняется не только вслѣдствіе колебаній давленія въ артезіанскомъ потокѣ, но и въ тѣхъ случаяхъ, когда отъ артезіанскаго

---

[1]) Временныя колебанія уровня воды въ артезіанскихъ колодцахъ въ Констанцѣ вызывались также вліяніемъ вѣтра, о которомъ мы упомянули выше (см. отд. I, гл. 12). При восточномъ вѣтрѣ, преимущественно при бурѣ, уровень воды въ обсадныхъ трубахъ подымается весьма быстро и держится на одинаковой высотѣ во все время бури; очевидно, что здѣсь происходитъ давленіе на уровень грунтовой воды, пропорціональное порыву вѣтра. Западные вѣтры не могутъ вліять въ данномъ случаѣ, вслѣдствіе глинистаго покрова надъ водоноснымъ слоемъ съ западной стороны.

потока заимствуется больше воды, нежели къ нему притекаетъ путемъ инфильтраціи. Въ подобныхъ случаяхъ предположеніе о постоянномъ значеніи n въ формулахъ 7) и 8) ведетъ къ ошибочнымъ результатамъ, которыхъ слѣдуетъ остерегаться. Если, наоборотъ, вытекающія количества воды при постоянныхъ пониженіяхъ остаются постоянно одинаковыми, то два наблюденія надъ значеніями s и Q даютъ правильныя значенія коэффиціентовъ n и m въ предѣлахъ наблюденій; тѣмъ не менѣе для полученія правильныхъ во всѣхъ отношеніяхъ заключеній изъ приведенныхъ формулъ, необходимо и въ этомъ случаѣ одно изъ пониженій сдѣлать по возможности глубже, нежели предвидится при дальнѣйшей нормальной работѣ колодца.

Затѣмъ нетрудно опредѣлить вліяніе діаметра колодца на его производительность при опредѣленномъ пониженіи. Пр едположимъ, что путемъ наблюденій въ указанномъ смыслѣ получены правильныя величины n и m. Пусть, напримѣръ, для колодца діаметр. 200 милим. ($r = 0{,}1$) найдено:

$$9)\quad s = 200\,Q + 350\,Q^2.$$

Тогда значенія n и m соотвѣтственно будутъ:

$$10)\quad n = 200 = \frac{\text{lg. nat.}\left(\frac{R}{r}\right)}{2\varphi\pi ka} = \frac{\text{lg. nat. } (10\,R)}{2\varphi\pi ka},$$

$$11)\quad m = 350 = \frac{2g\mu + \nu}{2g\pi^2 r^4} + \frac{(Ho - s)\,\lambda}{32 r^5} = \frac{19{,}62\mu + \nu}{19{,}62.\ 3{,}14^2.\ 0{,}0001} + \frac{0{,}0025(Ho - s)}{32.\ 0{,}00001}.$$

Если мы теперь удесятеримъ діаметръ (т. е. сдѣлаемъ $r = 10.\ 0{,}1 = 1$), тогда формула будетъ:

$$12)\quad s = n_{10}Q + m_{10}Q^2,$$

гдѣ

$$n_{10} = \frac{\text{lg. nat. } (R)}{2\varphi\pi ka} \quad \text{и} \quad m_{10} = \frac{19{,}62\mu + \nu}{19{,}62.\ 3{,}14^2} + \frac{0{,}0025\,(Ho - s)}{32}.$$

Если примемъ затѣмъ мощность водоноснаго слоя $a = 10$ метр.; $\varphi = 0{,}3$; $k = 0{,}002$ и $H_0 - s \doteq \sim 32$ метр., то по формуламъ 10) и 11) получимъ:

$$200 = \frac{\text{lg. nat. } (10R)}{2.0{,}3.3{,}14.0{,}002.10}; \qquad R = 187{,}4 \text{ метр.}$$

$$350 = \frac{19{,}62\mu + \nu}{19{,}62.3{,}14.^20{,}0001} + \frac{0{,}0025.32}{32.0{,}00001}; \qquad 19{,}62\mu + \nu = 1{,}93.$$

Отсюда получаемъ:

$$n_{10} = \frac{\text{lg. nat. } 187{,}4}{2.0,\ 3.3{,}14.\ 0{,}002.\ 10} = 139; \qquad m_{10} = \frac{1{,}93}{19{,}62.\ 3{,}14^2} + \frac{0{,}0025.\ 32}{32} = 0{,}0125.$$

Такимъ образомъ уравненіе 12) будетъ:

$$12a)\quad s = 139Q + 0{,}0125Q^2.$$

Легко видѣть, что при діаметрѣ колодца въ 2 метра ($r = 10.\ 0{,}1 = 1$) второй членъ правой части уравненія 12) уже не имѣетъ никакого замѣтнаго вліянія на величину пониженія уровня [1]).

Вычисляя пониженіе s для расхода 10 литровъ въ секунду, изъ уравненія 9) получаемъ.

$$s = 200\,.\,0{,}010 + 350\,.\,0{,}0001 = 2 + 0{,}035 = 2{,}035 \text{ метровъ.}$$

Изъ уравненія 12a) получилось бы пониженіе:

$$s = 139\,.\,0{,}010 + 0{,}0125\,.\,0{,}0001 = 1{,}39 \text{ метровъ.}$$

Если подъемная труба колодца не очень длинна, то въ нормальныхъ случаяхъ развивающееся въ ней сопротивленіе вообще не будетъ играть большой роли. Поэтому для всѣхъ не очень глубокихъ артезіанскихъ колодцевъ можно принять, что пониженіе будетъ пропорціонально расходу въ томъ, конечно, предположеніи, что доставляемое грунтовымъ потокомъ количество воды больше заимствуемаго изъ колодца. Увеличеніе діаметра колодца въ 10 разъ даетъ весьма небольшой выигрышъ въ количествѣ доставляемой имъ воды; колодецъ діам. 2 метра по ур. 12a) при пониженіи уровня на 2 метра [2]) даетъ 14,5 литровъ въ секунду, т. е. не болѣе какъ въ $1^1/_2$ раза противъ количества воды, даваемой при томъ же пониженіи уровня колодцемъ діам. въ 0,20 метровъ.

---

[1]) Заключеніе такого рода, что если второй членъ правой части уравненія 12) ничтоженъ въ сравненіи съ первымъ членомъ, то мы имѣемъ дѣло съ водоноснымъ слоемъ небольшой мощности или съ значительнымъ сопротивленіемъ притоку грунтовыхъ водъ, будетъ вообще неправильно.

[2]) При этомъ, какъ и выше, величина R принимается неизмѣнной.

Такимъ образомъ большія жертвы для увеличенія діаметра артезіанскаго колодца не имѣютъ смысла, въ предположеніи, что занесеніе пескомъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ можетъ быть устранено какимъ-либо другимъ способомъ. Въ практикѣ, при весь маглубокихъ колодцахъ, не смотря на увеличеніе вѣса и стоимости инструментовъ, стоимости работы укрѣпленія скважины и т. д., весьма часто употребляютъ трубы значительныхъ діаметровъ вслѣдствіе того неоцѣнимаго преимущества, которое онѣ имѣютъ въ отношеніи исполненія работы по устройству скважины и предупрежденія различныхъ случайностей и проч.

Артезіанскіе потоки вообще встрѣчаются весьма часто, и иногда даже весьма большой мощности, преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда водоносный слой образуетъ часть оболочки обширнаго бассейна, не разрушеннаго взбросами и проч., и когда онъ на большомъ протяженіи окруженъ непроницаемыми слоями Примѣромъ этому можетъ служить большой Парижскій бассейнъ, а также и бассейнъ Лондона.

Вообще подземная артезіанская вода расположена подъ мощными водопроницаемыми породами или рядомъ съ ними, образуя замкнутый сообщающійся съ этими грунтовыми резервуарами рукавъ, въ которомъ она до пробуренія находится въ покоѣ и приходитъ въ движеніе только послѣ пробуренія, или же упомянутый рукавъ направляетъ артезіанскій потокъ къ дальше расположенному истоку (ключу, истоку въ рѣку, озеро, и т. д.), такъ что пробуреніемъ освобождается напоръ воды, и часть потока получается въ видѣ бьющаго ключа. Выше на фиг. 147 изображено подобное явленіе, часто имѣющее мѣсто въ наносныхъ, осадочныхъ и третичныхъ отложеніяхъ. Впрочемъ, это явленіе нерѣдко замѣчается и въ другихъ горныхъ формаціяхъ, и такимъ путемъ артезіанскіе колодцы получаются въ породахъ, по своей природѣ совершенно непроницаемыхъ, какъ, напримѣръ, гранитахъ и проч.

Такимъ образомъ нельзя сказать, что въ вулканическихъ или въ другихъ болѣе или менѣе непроницаемыхъ извѣстныхъ породахъ не могутъ выступать бьющіе ключи; это было бы правильно только тогда, если бы всѣ эти породы можно было бы разсматривать, какъ компактныя и вполнѣ однородныя, что на самомъ дѣлѣ недопустимо.

Принимая въ соображеніе, что большинство осадочныхъ формацій въ свое время, до ихъ перекрытія новыми слоями, верхними своими пластами выходили на дневную поверхность, при чемъ разложеніе и измельченіе слоевъ происходило совершенно такимъ же путемъ, какъ это происходитъ и въ настоящее время на поверхности почвы (подъ дѣйствіемъ измѣненія температуры, воды, растительности и проч.), легко себѣ объяснить замѣчаемое въ практикѣ явленіе, что въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ новые пласты расположены надъ болѣе древними, очень часто встрѣчается водопроницаемый детритъ послѣднихъ. Этотъ детритъ, ограниченный снизу уплотняющимися слоями, а сверху новыми осадками, во многихъ случаяхъ является водоноснымъ слоемъ для артезіанскаго потока.

Необходимо здѣсь принять въ соображеніе, какъ это было замѣчено нами выше (см. отд. I, гл. 21), что сплошныя сами по себѣ водонепроницаемыя, но изрѣзанныя щелями, трещинами, пещерами и проч., породы могутъ быть водоносными, подобно песку и обломкамъ осадочныхъ, наносныхъ и третичныхъ образованій, которыя мы всегда имѣемъ въ виду, когда рѣчь заходитъ о грунтовыхъ потокахъ.

При отысканіи соотвѣтственныхъ мѣстъ для буренія бьющихъ ключей указаніемъ служитъ не одна только послѣдовательность напластованія, но также и верхнее строеніе почвы; еще большее значеніе имѣетъ орографическій рельефъ мѣстности, въ которой имѣется въ виду открывать подобные ключи. Само собой понятно, что всякій артезіанскій потокъ долженъ образоваться отъ просачиванія поверхностныхъ водъ (инфильтрацій отъ дождей, рѣчной воды и проч., и проч.); эти инфильтраціи для образованія бьющихъ ключей необходимо должны происходить на выше расположенныхъ мѣстностяхъ. Здѣсь необходимъ значительный избытокъ напора для преодолѣнія сопротивленія въ водоносномъ слоѣ и для образованія давленія въ самомъ артезіанскомъ потокѣ.

Поэтому на плоскихъ возвышенностяхъ рѣдко бываетъ возможно пробурить артезіанскіе колодцы. Больше вѣроятности успѣха пробуренія артезіанскихъ колодцевъ можно ожидать въ плоскихъ выемкахъ, преимущественно въ бѣдныхъ ключами. На большихъ кругообразныхъ, ограниченныхъ высокими горами, равнинахъ, въ которыхъ строеніе почвы можно предполагать состоящимъ изъ попеременно напластованныхъ непроницаемыхъ и проницаемыхъ слоевъ, успѣхъ буренія обыкновенно бываетъ совершенно обезпеченъ. Въ глубоко врѣзанныхъ долинахъ и преимущественно въ томъ мѣстѣ, гдѣ горы образуютъ крутые склоны, значи-

тельно облегчающіе стокъ водяныхъ жилъ, полученіе артезіанскихъ колодцевъ менѣе вѣроятно. Меньше всего можно ожидать успѣховъ отъ буренія на горныхъ склонахъ.

При прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, само собой разумѣется, раціональнѣе будетъ производить буреніе въ наиболѣе пониженной части мѣстности, такъ какъ можно принять, что тамъ достиженіе водоноснаго слоя возможно при наименьшихъ затратахъ.

Вообще можно сказать, что во всѣхъ тѣхъ формаціяхъ, въ напластованіе которыхъ входятъ глины (наносныя, осадочныя, третичныя, известковыя всѣхъ родовъ, песчаниковыя, мѣловыя и проч.), вѣроятность успѣха артезіанскаго буренія, при прочихъ благопріятныхъ условіяхъ, будетъ наибольшая; точно также слои мергелей и сланцевъ допускаютъ образованіе значительнаго избытка напора въ заключенномъ между ними водоносномъ слоѣ. Впрочемъ, для образованія артезіанскаго потока нѣтъ безусловной необходимости въ томъ, чтобы легкопроницаемый водоносный слой былъ бы окруженъ вполнѣ непроницаемымъ слоемъ. Образованіе бьющаго ключа возможно и тогда, когда окружающія водоносный слой породы менѣе проницаемы, нежели самый водоносный слой, какъ мы уже говорили объ этомъ при разсмотрѣніи такъ называемыхъ водяныхъ этажей.

Что же касается условій расположенія напластованій, то въ долинахъ, пересѣкаемыхъ слоями горныхъ породъ вкось или поперекъ, или такихъ, въ которыхъ открытые водяные потоки наклонны или перпендикулярны къ этимъ слоямъ, артезіанскіе потоки легче встрѣчать, нежели въ такихъ, гдѣ направленіе долины параллельно направленію слоевъ породъ. Въ послѣднихъ вода движется, соприкасаясь въ верхнихъ слояхъ съ воздухомъ, какъ бы по подготовленному для нея каналу или по желобу; въ первомъ же случаѣ вода проникаетъ подъ слои и повсюду находится подъ напоромъ, обусловливаемымъ расположеніемъ мѣста притока и дѣйствующимъ на перекрывающіе пласты; этотъ напоръ, освобождаясь буреніемъ, можетъ служить для образованія бьющаго ключа. Въ подобныхъ случаяхъ весьма благопріятными оказываются наслоенные въ видѣ жилъ въ непроницаемыхъ пластахъ валуны, или сильно трещиноватые известняки и т. под. породы, образующія полный дренажъ для расположенныхъ выше долины наносовъ, отложеній и проч.

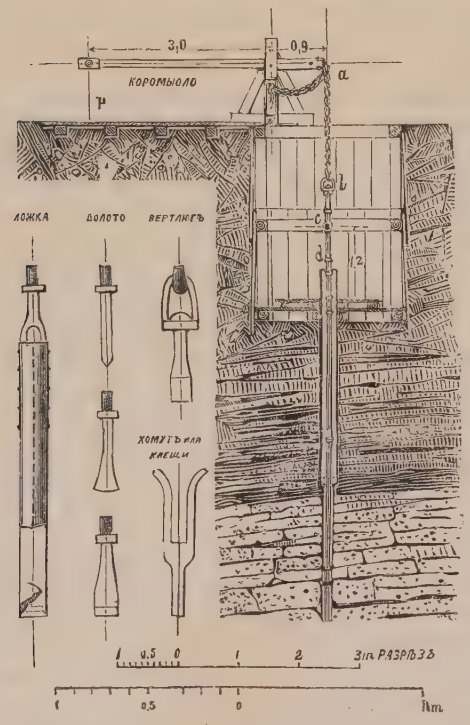
Геогностическія изслѣдованія мѣстности, на которой имѣется въ виду буреніе, болѣе или менѣе выясняютъ эти условія, и поэтому они всегда должны предшествовать артезіанскому буренію.

Часто высказываемое мнѣніе, что достаточно глубокимъ буреніемъ возможно вездѣ открыть артезіанскіе бьющіе ключи, нами не раздѣляется, такъ какъ, допуская глубоко простирающуюся трещиноватость, невозможно доказать присутствіе во всякой подпочвѣ мѣстъ съ болѣе высокимъ напоромъ. Нельзя отрицать, что съ увеличеніемъ глубины, трещины въ породѣ бываютъ меньше, такъ какъ пласты находятся тамъ подъ весьма значительнымъ давленіемъ. Но въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ никогда невозможно точно указать предѣлъ, гдѣ трещиноватость породы прекращается.

Если буреніе для добыванія воды производится въ обыкновенныхъ валунахъ или галькахъ, то сюда примѣнимо все вышесказанное нами при описаніи трубчатыхъ колодцевъ. При этомъ необходимо имѣть въ виду, что для предупрежденія исчезанія добываемой изъ артезіанскаго потока воды въ пробуренные выше лежащіе слои, во всякомъ случаѣ требуется тщательно закрѣпить скважину вслѣдъ за буреніемъ обсадными трубами, которыя обыкновенно не слѣдуетъ вытягивать обратно. Многіе артезіанскіе колодцы бурятся въ крѣпкихъ породахъ; но даже и въ этихъ случаяхъ необходимо закрѣпленіе скважины обсадными трубами. Въ послѣднее время весьма много артезіанскихъ буреній произведено въ Англіи, въ Сѣверной Америкѣ и Алжирѣ; съ 1820 г. до средины нынѣшняго столѣтія много буреній произведено во Франціи и Германіи. Въ послѣдніе нѣсколько лѣтъ, благодаря усовершенствованію буровой техники, удалось отчасти устранить весьма важные недостатки артезіанскихъ буреній, а именно медленность работъ и значительную ихъ стоимость.

Въ Россіи дѣло артезіанскаго буренія сильно подвинулось за послѣднее время, и теперь насчитываются многіе десятки и сотни артезіанскихъ колодцевъ, съ большимъ или меньшимъ успѣхомъ служащихъ для цѣлей водоснабженія.

Цѣль и размѣры нашей книги не даютъ намъ возможности войти въ подробное описаніе всѣхъ методовъ, примѣняемыхъ для полученія глубокихъ буровыхъ скважинъ. Описаніе этихъ методовъ составляетъ отдѣльный предметъ нѣкоторыхъ спеціальныхъ сочиненій, изъ которыхъ мы можемъ здѣсь указать на весьма обстоятельное сочиненіе Текленбурга (поименованное нами выше въ выноскахъ), а также на рядъ статей въ періодической технической литературѣ (напр., статьи Гада въ Dingler's Polyt. Journal за 1890 и 1891 г.). Тѣмъ не менѣе считаемъ нелишнимъ привести здѣсь краткій обзоръ буреній въ твердыхъ породахъ и разсмотрѣть, по меньшей мѣрѣ, тѣ методы, которые при небольшихъ сооруженіяхъ представляютъ собой простое рѣшеніе предстоящей задачи.



Фиг. 168. Буреніе помощью штангъ.

Выше мы описали способъ канатнаго буренія. Этотъ способъ не даетъ уже никакихъ результатовъ при буреніи въ твердой или скалистой породѣ; въ подобномъ случаѣ почва сперва должна быть раздроблена, такъ какъ иначе она не можетъ вычерпываться желонкой. Это раздробленіе простѣйшимъ путемъ производится посредствомъ сидящаго на прочной штангѣ бура или зубила, приводимаго во вращательное или колебательное движеніе

До глубины около 100 метр. буреніе въ скалистой почвѣ можетъ быть произведено по изображенному на фиг. 168 весьма удобному способу (англійскому способу буренія), наиболѣе часто примѣняемому въ практикѣ; этимъ способомъ обыкновенно бурятъ скважины діам. отъ 75 до 300 милим. Сперва порода раздробляется помощью зубила, и послѣ подобной его обработки слоями глубиной 0,5 или 1 метр., буровая мука, т. е. детритъ породы, вычерпывается изъ скважины помощью желонки, обращеніе съ которой было описано выше.

Необходимые отдѣльные инструменты для буренія, за исключеніемъ только ловильныхъ инструментовъ, употребляемыхъ при потерѣ зубила и т. под., показаны на фиг. 168. Все приспособленіе дѣйствуетъ слѣдующимъ образомъ: стальное или насталенное зубило, снабженное заплечикомъ, выше котораго оно кончается нарѣзаннымъ коротким стержнемъ, ввинчивается въ штангу. Послѣдняя состоитъ изъ отдѣльныхъ желѣзныхъ прутьевъ длиною отъ 2 до 4 метр. съ квадратнымъ сѣченіемъ въ 25 до 40 мил.; каждый изъ этихъ прутьевъ снабженъ сверху нарѣзаннымъ концомъ, а снизу гайкой, и кромѣ того однимъ или двумя заплечиками. Нѣсколько короткихъ штангъ служатъ для выравниванія. Верхняя часть штанги состоитъ изъ буровой рукоятки (для поворачиванія бура) *cd* съ навинченнымъ на ней вертлюгомъ *b*, соединеннымъ помощью буровой цѣпи *ab* съ коротким концомъ *a* бурового коромысла. Въ буровую рукоятку при *c* вставляется круглый деревянный аншпугъ, служащій стоящему на показанной на фиг. 168 скамейкѣ бормейстеру, или старшему рабочему, для поворачиванія бура или зубила Буровое коромысло вращается вокругъ желѣзнаго болта въ деревянной стойкѣ, закрѣпленной въ уложенной черезъ буровую шахту поперечинѣ, причемъ отношеніе длины плечъ, между точкой дѣйствія рабочихъ и точкой подвѣса штанги, можетъ быть измѣнено по желанію путемъ перемѣщенія оси вращенія коромысла или же постановкой болѣе длиннаго коромысла.

Рабочіе нажимаютъ конецъ длиннаго плеча коромысла внизъ, чѣмъ подымаютъ штанги, и затѣмъ заставляютъ ихъ упасть внизъ, при чемъ стоящій у рукоятки рабочій, помощью деревяннаго рычага каждый разъ нѣсколько поворачиваетъ зубило на нѣкоторый уголъ (отъ 10 до 30°). По мѣрѣ дальнѣйшаго проникания зубила въ почву, коромысло въ состояніи покоя не принимаетъ уже горизонтальнаго положенія, а занимаетъ нѣкоторое наклонное по-

ложеніе; тогда кусокъ цѣпи *ab* удлиняется, т. е. за крюкъ *a* зацѣпляется одно изъ заднихъ звеньевъ цѣпи. Буровая цѣпь должна состоять изъ весьма прочныхъ звеньевъ, черезъ которыя еще, кромѣ того, пропускается канатъ, служащій для предохраненія рабочаго отъ поврежденія при разрывѣ цѣпи.

Ниже *d* расположена направляющая, состоящая обыкновенно изъ желѣзной трубы, которая, впрочемъ, можетъ быть замѣнена обыкновенной деревянной трубой, какъ это часто раньше и дѣлалось. Помощью этой трубы штангамъ съ самаго начала дается точно вертикальное направленіе; кромѣ того, лежащія сверху направляющей клещи или хомутъ служатъ для удержанія штангъ въ случаѣ разрыва цѣпи, при чемъ заплечики штанги упираются въ клещи, вслѣдствіе чего она удерживается отъ дальнѣйшаго паденія.

Для работы описаннымъ приборомъ потребно 3—4 рабочихъ для нажиманія коромысла и старшій рабочій съ помощникомъ для направленія бура. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказывается удобнымъ подвѣсить штанги, т. е. подымать и опускать ихъ помощью каната, подобно тому, какъ это изображено на фиг. 158 для желонки. Къ этому обыкновенно прибѣгаютъ только въ началѣ работы для усиленія удара зубила, такъ какъ буровое коромысло значительно смягчаетъ ударъ, что впослѣдствіи оказывается весьма желательнымъ по мѣрѣ углубленія скважины и увеличенія вѣса штангъ. Такимъ образомъ оба эти прибора служатъ какъ бы дополненіями другъ другу. Высота паденія зубила со штангами составляетъ обыкновенно около 50 сантиметровъ. При скважинахъ глубиной больше 100 метровъ, этотъ способъ уже оказывается неудобнымъ, такъ какъ вслѣдствіе длинныхъ колеблющихся штангъ нарушается правильность стѣнокъ скважины, причемъ могутъ произойти поломки, заклиниванія и проч.

Третій изъ наиболѣе простыхъ способовъ, примѣняемыхъ для буренія скважинъ, составляетъ вращательное буреніе. При этомъ способѣ буренія въ почву посредствомъ вращенія углубляется спиральный или ложкообразный буръ (подобный деревянному бураву). Штанги имѣютъ такое же устройство, какъ и при ударномъ буреніи; подыманіе наполненнаго буровой мукой бура производится также и помощью каната. Этотъ способъ находитъ себѣ примѣненіе преимущественно въ глинистой и мергельной почвѣ.

Въ послѣднее время вмѣсто цѣпи стали примѣнять такъ называемый опускной винтъ, вращаемый вмѣстѣ со штангой, чѣмъ избѣгается опусканіе цѣпи; послѣ полнаго завинчиванія всего винта должно послѣдовать обратное его вывинчиваніе и вставленіе новой буровой штанги. Значительное усовершенствованіе изображеннаго на фиг. 68 метода буренія состоитъ въ примѣненіи свободно падающихъ буровыхъ инструментовъ, измѣненныхъ штангъ, въ приведеніи въ дѣйствіе бурильной машины помощью пара и проч.; помощью усовершенствованнаго, такъ называемаго нѣмецкаго, способа могутъ быть пробурены скважины до 1360 метр. глубины и до 900 милим. діаметровъ.

Наибольшій успѣхъ буровой техники представляетъ собой такъ называемое промывочное буреніе.

Для избѣжанія вычерпыванія ложкой буровой муки и жижи изъ скважины, буравъ изготовляется пустотѣлымъ, и въ скважину вводится сильная струя воды, помощью которой буровая мука подымается на дневную поверхность. При этомъ способѣ работа очень быстро подвигается впередъ. Буреніе въ твердыхъ породахъ, наконецъ, сильно облегчается тѣмъ, что конецъ бура насаживается черными алмазами, и одновременно же примѣняется промывка

Всѣ безъ исключенія буровыя скважины для артезіанскихъ колодцевъ, какъ указано выше, должны быть закрѣплены обсадными трубами для предохраненія ихъ отъ обваловъ, для устраненія протеканія воды въ промежуточные проницаемые слои, а также и для предупрежденія притока нежелательной воды изъ этихъ промежуточныхъ слоевъ въ скважину. Проницаемые промежуточные слои, жадно поглощающіе въ себѣ воду и отводящіе ее, встрѣчаются очень часто; эти слои часто служатъ причиной дѣйствія такъ называемыхъ отрицательныхъ или абсорбирующихъ (поглощающихъ) артезіанскихъ скважинъ[1]). Во многихъ случаяхъ другъ надъ другомъ расположено нѣсколько артезіанскихъ потоковъ, между которыми находятся годные и негодные для водоснабженія потоки; въ

[1]) Bruckmann, A. E. Ueber. negativ artesische Brunnen.

этихъ случаяхъ негодные потоки должны быть закрыты [1]). Закрѣпленіе скважинъ производится деревянными, мѣдными, цинковыми, чугунными и желѣзными, а также и такъ называемыми гальванизированными трубами; при очень глубокихъ колодцахъ скважина закрѣпляется трубами различнаго діаметра такъ, что послѣдовательный рядъ отдѣльныхъ обсадныхъ трубъ напоминаетъ собой видъ вытянутаго телескопа. Въ послѣднемъ случаѣ нижняя труба должна выступать на нѣсколько метровъ надъ верхней, а кольцевое пространство между ними должно быть уплотнено; тогда большей частью весьма трудно или даже совершенно невозможно производить дополнительное поднятіе или опусканіе трубъ. Лучше вставить трубы одну въ другую и каждую отдѣльную трубу довести до дневной поверхности, такъ что внутренняя труба будетъ продолжаться до дна колодца. Въ этомъ случаѣ каждая отдѣльная труба легко можетъ быть вытянута. Къ этому способу бываютъ вынуждены прибѣгать въ тѣхъ случаяхъ, когда вслѣдствіе давленія породъ при опусканіи одной трубы невозможно преодолѣть треніе породы о стѣнки трубы безъ опасенія за цѣлость самой трубы. Во всѣхъ же остальныхъ случаяхъ гораздо выгоднѣе и цѣлесообразнѣе примѣнять одинъ только рядъ трубъ одинаковаго діаметра.

Опусканіе обсадныхъ трубъ производится путемъ нагрузки, путемъ забиванія или путемъ поворачиванія, въ зависимости отъ проходимыхъ породъ. При наиболѣе часто встрѣчающейся глубинѣ буровыхъ скважинъ для водоснабженія въ 10 до 50 метр. это опусканіе трубы большей частью не представляетъ собой никакихъ затрудненій. При болѣе глубокихъ скважинахъ для минеральныхъ ключей, наоборотъ, сопротивленіе опусканію трубъ бываетъ весьма значительно.

Деревянныя трубы примѣняются, главнымъ образомъ, въ верхней части скважины, гдѣ она достаточно широка, и гдѣ вполнѣ допустимо уменьшеніе шахты увеличеніемъ толщины стѣнокъ трубы. Мѣдныя, цинковыя или гальванизированныя желѣзныя трубы примѣняются на значительныхъ глубинахъ въ тѣхъ случаяхъ, когда обсадка скважины должна сопротивляться окисляющему дѣйствію грунтовыхъ водъ (напр., при соляныхъ источникахъ, кислыхъ ключахъ и проч.). Желѣзныя трубы преимущественно употребляются при незначительныхъ діаметрахъ скважинъ, такъ какъ вслѣдствіе допущенія въ нихъ небольшой толщины стѣнокъ получается наибольшій внутреній діаметръ; впрочемъ, онѣ сильно подвержены ржавленію и, даже хорошо гальванизированныя не могутъ долго противостоять дѣйствію воды.

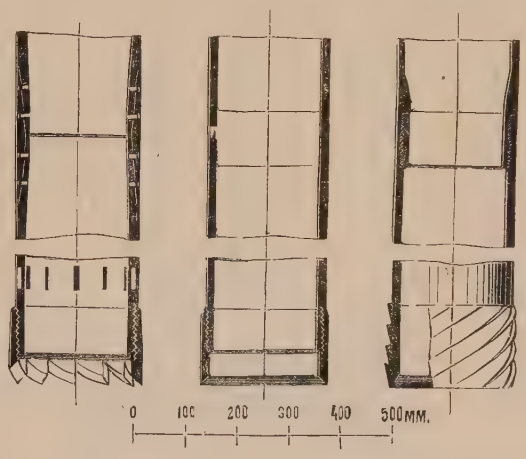
Наилучшимъ матеріаломъ для колодезныхъ трубъ, преимущественно при діаметрахъ скважинъ отъ 300 миллиметр. и выше, считаются чугунныя трубы. Нижняя труба снабжается башмакомъ, заточеннымъ съ конца или съ нарѣзаннымъ на его концѣ зубцами (ср. фиг. 169) или съ винтовой на немъ рѣзьбой. Когда обсадныя трубы осаживаются по мѣрѣ буренія, какъ это почти безъ

---

[1]) Дѣлаемое многими буровыми техниками различіе между первымъ, вторымъ и т. д. горизонтомъ воды въ томъ смыслѣ, будто бы глубже текущая вода бываетъ лучше по своимъ качествамъ, ни на чемъ не основано. Гораздо понятнѣе въ гигіеническомъ отношеніи французское обозначеніе: „nappes superficielles“ и „nappes profondes“, т. е. поверхностные и глубокіе мощные (никогда ни высыхающіе) грунтовые потоки. Впрочемъ, заключенія о качествѣ воды могутъ быть получены только путемъ химическихъ и бактеріологическихъ анализовъ; поэтому предварительныя предположенія о качествахъ воды не должны быть допустимы.

исключенія имѣетъ мѣсто для всѣхъ колодезныхъ скважинъ, то трубы должны имѣть снаружи совершенно гладкую поверхность. Соединеніе трубъ можетъ быть произведено по одному изъ способовъ, показанныхъ на фиг. 169.

Крайняя лѣвая фигура чертежа (фиг. 169) изображаетъ способъ соединенія трубъ, примѣненный въ артезіанскихъ колодцахъ въ Констанцѣ, а также показываетъ прикрѣпленный къ нижнему концу трубы чугунный зубчатый башмакъ. Пройденный грунтъ представлялъ собой хрящъ, суглинокъ и плотный конгломератъ, причемъ трубы оказались вполнѣ удовлетворительными. У нижнихъ своихъ концовъ онѣ снабжены впускными щелями. Средняя фигура изображаетъ заточенный внизу ровный башмакъ, надѣтый внизу трубы, которая снаружи и внутри имѣетъ гладкія поверхности. Для того, чтобы подобныя трубы не ломались у нарѣзанныхъ своихъ концовъ, онѣ должны имѣть довольно значительную толщину стѣнокъ; впрочемъ, подобныя трубы примѣняются только при незначительныхъ глубинахъ скважинъ. Болѣе безопасное отъ поломокъ представляетъ собой показанное съ правой стороны фиг. 169 муфтовое соединеніе. Изображенный на чертежѣ винтовой башмакъ легко проникаетъ черезъ мягкія породы (глину, мергель и проч.), причемъ и обсадная труба очень легко опускается. Башмаки должны быть изготовлены изъ стали для избѣжанія ихъ поломокъ и притупленій.



Фиг. 169. Соединенія трубъ и трубные башмаки.

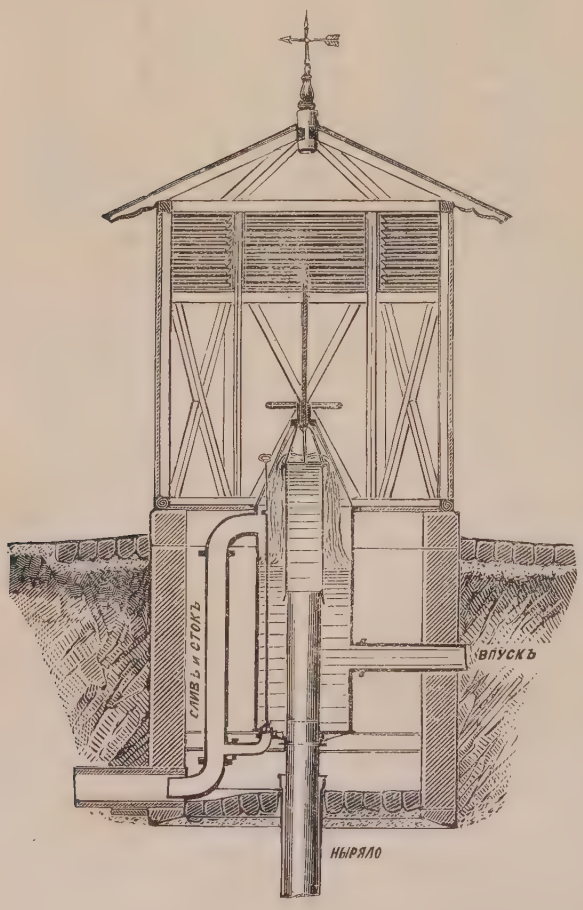
Различные способы, примѣняемые въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ для удержанія воды для устраненія поступленія воды въ поглощающіе слои, а также для исправленія течей, поломокъ и проч., несомнѣнно имѣютъ весьма важное значеніе, но не могутъ быть здѣсь описаны въ нѣсколькихъ словахъ. Изъ наиболѣе часто примѣняемыхъ вспомогательныхъ средствъ упомянемъ здѣсь уширеніе скважинъ, добавочное укрѣпленіе, изолировочные цилиндры, цементированіе, запайка, засыпка песку и хряща и проч. Различные способы изложены въ спеціальныхъ руководствахъ и сочиненіяхъ по буровой техникѣ.

Вода почти безъ исключенія всегда получается изъ того артезіанскаго потока, въ которомъ существуетъ наибольшее давленіе. Если скважина, начиная отъ этого потока, хорошо обсажена трубами, то вода изъ другихъ слоевъ съ меньшимъ давленіемъ можетъ поступить въ скважину лишь въ томъ случаѣ, когда скорость движенія воды въ ней вызываетъ всасываніе посторонней воды. Это узнается по высотѣ поднятія воды. Если пониженіе уровня нижняго артезіанскаго потока таково, что выпускной конецъ расположенъ выше гидростатическаго давленія всѣхъ другихъ пройденныхъ потоковъ, то можно быть вполнѣ увѣреннымъ въ томъ, что въ скважину не будетъ поступать вода изъ промежуточныхъ потоковъ, и обратно. Поэтому для увѣренности въ томъ, имѣемъ ли мы дѣло съ поглощающимъ или подводящимъ воду слоемъ, необходимы измѣренія давленія воды; при этомъ, само собой разумѣется, необходимо постоянно дѣлать различіе между гидростатическимъ и гидравлическимъ давленіемъ.

На нижнемъ концѣ трубы артезіанскаго колодца, расположенномъ въ снабжающемъ артезіанскомъ потокѣ и опущенномъ въ твердую породу или въ валуны (песокъ), обыкновенно не имѣется никакихъ приспособленій для впуска воды. Въ исключительныхъ только случаяхъ нижняя труба дѣлается проницаемой, т. е. снабжается щелями или отверстіями въ своихъ стѣнкахъ. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ это оказывается цѣлесообразнымъ, нѣтъ никакихъ причинъ отступать отъ способовъ, примѣняемыхъ при обыкновенныхъ трубчатыхъ колодцахъ, какъ, напр., отъ обкладки сѣтчатой тканью, устройства хрящеваго фильтра и

проч. Обыкновенно у нижняго конца скважины образуется водяная полость, или же трещины породы вокругъ скважины размываются до тѣхъ поръ, пока на извѣстномъ разстояніи отъ оси скважины скорость притока понижается до такого предѣла, при которомъ вода не можетъ уносить съ собой никакихъ твердыхъ частицъ.

Что касается производительности и постоянства артезіанскихъ колодцевъ, то въ срединѣ нашего столѣтія объ этомъ предметѣ были высказываемы различныя увлекательныя предвѣщанія, которыя въ послѣднее время опять возобновлены въ баснословно увеличенномъ видѣ соотвѣтственно духу рекламы. На основаніи всѣхъ предыдущихъ нашихъ разсужденій по этому вопросу мы можемъ сказать, что артезіанскіе колодцы должны быть разсматриваемы совершенно такъ же, какъ и всякіе другіе грунтовые потоки, равновѣсіе которыхъ нарушено искусственнымъ расходомъ: пробуреніе грунтоваго резервуара постепенно развиваетъ въ грунтовомъ потокѣ новое состояніе равновѣсія, окончательно устанавливающееся лишь по истеченіи многихъ лѣтъ; наступленіе этого состоянія равновѣсія тѣмъ болѣе отодвигается, чѣмъ больше отношеніе расхода къ водоносности потока. Обыкновенно, при опредѣленной высотѣ истекающей струи, въ началѣ дѣйствія скважины истекаетъ болѣе значительное количество воды, нежели по истеченіи нѣсколькихъ лѣтъ, такъ какъ въ теченіе первыхъ періодовъ дѣйствія скважины питанію ея содѣйствуютъ накопленные подземные запасы воды, которые при дальнѣйшемъ пониженіи грунтоваго горизонта болѣе вновь не накопляются Относительно служащей для питанія даннаго артезіанскаго потока инфильтраціонной области почти безъ исключенія существуютъ одни только предположенія, и едва ли нужно прибавлять, что принятіе въ расчетъ нѣкоторой, расположенной выше истока области осадковъ не даетъ никакой исходной точки въ этомъ отношеніи. Приспособленія для искусственнаго уменьшенія или увеличенія количества воды изъ артезіанскаго колодца бываютъ весьма умѣстны въ такихъ случаяхъ, когда снабжаемая имъ мѣстность имѣетъ неравномѣрную потребность въ водѣ. Подыманіемъ сточнаго отверстія (преимущественно въ томъ случаѣ, когда артезіанскій колодецъ выходитъ изъ замкнутой съ конца трубы сбоку) можно запрудить запасы грунтоваго бассейна,



Фиг. 170. Регулированіе истока артезіанскихъ колодцевъ въ Констанцѣ.

вслѣдствіе чего въ періоды наибольшей потребности могутъ быть выпущены болѣе значительныя количества воды безъ истощенія резервуара.

Подобнаго рода приспособленіе изображено на фиг. 170 и устроено Герстнеромъ при сооруженіи артезіанскаго колодца въ Констанцѣ. Ввиду того, что расположеніе выпускнаго отверстія ниже 1 метра подъ поломъ колодезной будки, или 0,7 метр. подъ землей, никогда не требуется, то на обточенный верхній конецъ обсадной трубы была надѣта телескопическая труба, промежутокъ между которой и обсадной трубой уплотненъ бронзовой пружинной прокладкой, и которая соединена съ установленнымъ на треногѣ приспособленіемъ, состоящимъ изъ расположеннаго по оси колодца винтового шпинделя, вращающагося въ неподвижной муфтѣ. Помощью этого приспособленія сточный конецъ трубы можетъ быть поднятъ на 1,35 метр. выше конца обсадной трубы и закрѣпленъ во всякомъ промежуточномъ положеніи. Стокъ воды происходитъ въ снабженный сливной и спускной трубой чугунный резервуаръ, черезъ нижнее дно котораго проходитъ обсадная труба, пропущенная черезъ устроенный здѣсь сальникъ. Резервуаръ находится въ каменномъ колодцѣ и доставляетъ изливающуюся въ него воду привинченному къ нему сбоку трубопроводу.

Что же касается качествъ доставляемой артезіанскими колодцами воды, то онѣ зависятъ отъ свойствъ проходимыхъ ею водоносныхъ слоевъ и отъ природы области инфильтрацій, при чемъ послѣдняя обыкновенно намъ неизвѣстна. Во многихъ случаяхъ доставляемая вода содержитъ въ себѣ въ большемъ или меньшемъ количествѣ сѣрнисто-водородный газъ. Добытая изъ слишкомъ значительныхъ глубинъ вода бываетъ слишкомъ богата содержаніемъ солей и слишкомъ тепла для обыкновеннаго употребленія, такъ что примѣненіе артезіанскихъ бьющихъ ключей для дѣйствія городскихъ водоснабженій въ сущности встрѣчается не очень часто.

Никто не можетъ съ достовѣрностью предсказать появленіе бьющаго ключа въ какомъ-нибудь опредѣленномъ мѣстѣ; нѣкоторая вѣроятность полученія подобнаго ключа имѣется тогда, когда при прочихъ одинаковыхъ внѣшнихъ условіяхъ уже существуетъ одинъ такой ключъ. Въ общемъ, буреніе такихъ ключей представляетъ собой довольно дорогое и рискованное предпріятіе.

Наиболѣе удовлетворяютъ цѣлямъ водоснабженія и наиболѣе часто встрѣчаются тѣ артезіанскіе потоки, которые появляются въ такъ называемыхъ водяныхъ этажахъ грунтовыхъ водъ, находящихся въ валунахъ рѣчной долины и открываемыхъ путемъ буренія, причемъ добытая вода не образуетъ бьющихъ ключей. Эти ключи разсмотрѣны нами выше при изученіи трубчатыхъ колодцевъ; глубина подобныхъ скважинъ или ключей подъ поверхностью земли большей частью незначительна, а обдѣлка ихъ весьма проста и не связана ни съ какимъ рискомъ.

8. Сборъ грунтовыхъ водъ помощью открытыхъ канавъ, дренажей, сборныхъ трубъ, сборныхъ каналовъ и штоленъ.

Присутствіе грунтоваго потока съ опредѣленнымъ количествомъ воды общедоступнымъ путемъ лучше всего можетъ быть доказано прорытіемъ выемки (прорѣза, штольни и пр.) и наблюденіемъ надъ истекающей изъ нея подъ естественнымъ уклономъ водой. Заключенія, дѣлаемыя по дѣйствію пробныхъ колодцевъ и проч., далеко не такъ убѣдительны, какъ наглядная картина, даваемая открытой выемкой. Но, съ другой стороны, разъ выемка или канава сдѣлана, то наиболѣе цѣлесообразно будетъ примѣнить ее для устройства водосборныхъ каналовъ. Такимъ образомъ, можетъ случиться, что горизонтальныя сборныя сооруженія будутъ устроены при такихъ внѣшнихъ обстоятельствахъ, при которыхъ, по

свойству и положенію водоноснаго слоя, устройство отдѣльнаго колодца или ряда колодцевъ было бы гораздо проще и во всѣхъ отношеніяхъ раціональнѣе.

Но независимо отъ этого бываютъ, тѣмъ не менѣе, такія условія, при которыхъ обширныя горизонтальныя водосборныя сооруженія уже a'priori имѣютъ всѣ преимущества.

Очень часто грунтовый потокъ течетъ не равномѣрно, а преимущественно въ видѣ отдѣльныхъ, частью другъ съ другомъ связанныхъ и частью отдѣленныхъ другъ отъ друга, жилъ, до извѣстной степени представляющихъ собой устроенный природой дренажъ наносной долины или горы. Это имѣетъ мѣсто безъ исключенія при всѣхъ скалистыхъ горныхъ породахъ, въ которыхъ вода надъ непроницаемымъ слоемъ протекаетъ въ щели и трещины налегающихъ породъ; различныя отдѣльныя струи соединяются между собой въ одномъ или нѣсколькихъ мѣстахъ, къ которымъ непроницаемый слой имѣетъ наклонъ со всѣхъ сторонъ, или же онѣ образуютъ рядъ ключей, если непроницаемый слой расположенъ почти или совершенно горизонтально. Подобный же случай очень часто имѣетъ мѣсто и въ наносахъ, преимущественно когда валуны послѣднихъ содержатъ въ себѣ больше или меньше глинистыхъ примѣсей, въ которыхъ залегаютъ отдѣльные рукава или значительной длины отдѣльныя гнѣзда болѣе чистаго матеріала (хрящеватыя жилы). Въ этихъ хрящеватыхъ жилахъ грунтовая вода движется легче, нежели по остальнымъ частямъ наноса, и такъ какъ отдѣльныя жилы отдѣлены другъ отъ друга менѣе проницаемыми промежуточными отложеніями, то опущенный въ произвольномъ мѣстѣ колодецъ, постоянно имѣетъ весьма небольшую сферу дѣйствія; кромѣ того, мы никогда не можемъ быть увѣрены въ томъ, что при значительномъ числѣ колодцевъ между каждыми двумя изъ нихъ вода не уходитъ по хрящеватой жилѣ, изъ которой она не извлекается ни однимъ, ни другимъ изъ этихъ колодцевъ. Въ подобныхъ случаяхъ прорытіемъ канала, перпендикулярнаго направленію потока и доведеннаго до водоноснаго слоя, можно добыть всю имѣющуюся воду, причемъ этотъ способъ слѣдуетъ предпочитать устройству колодца при тѣхъ условіяхъ, когда глубина канала не достигаетъ чрезмѣрной величины, и когда почва не содержитъ въ себѣ сплошного или мѣстами расположеннаго плывуна (плывучихъ песковъ). Въ исключительныхъ случаяхъ, преимущественно въ скалистыхъ породахъ, гораздо дешевле будетъ, вмѣсто канала, устроить штольню (см. ниже).

При сравнительно широкомъ грунтовомъ потокѣ, и если водоносный слой состоитъ изъ совершенно однороднаго матеріала, устройство канала будетъ выгоднѣе сооруженія ряда колодцевъ, пока вертикальное разстояніе отъ непроницаемаго слоя до уровня грунтовыхъ водъ будетъ незначительно. Въ подобныхъ случаяхъ получается небольшое поперечное сѣченіе для протока воды, сравнительно съ колодцами, въ которыхъ, вслѣдствіе ограниченной возможности пониженія уровня воды, скорость можетъ быть весьма мало увеличена. Такимъ образомъ для достиженія того же результата, который получается расположеннымъ перпендикулярно направленію грунтоваго потока и доведеннымъ до непроницаемаго слоя каналомъ, потребовалась бы весьма большое число отдѣльныхъ колодцевъ. Если же устройство канала со включеніемъ укладываемыхъ въ немъ сборныхъ трубъ (галлерей) не дорого, то вслѣдствіе болѣе надежнаго дѣйствія этого сооруженія, оно должно предпочитаться сооруженію колодцевъ.

Если грунтовый потокъ движется по склону горы къ долинѣ, такъ что у склона можно пересѣчь потокъ до непроницаемаго слоя на сравнительно небольшой глубинѣ подъ поверхностью почвы, то сборъ воды можетъ быть произведенъ весьма удобно помощью сборнаго канала; чѣмъ сильнѣе паденіе текущаго подъ склономъ грунтоваго потока, тѣмъ не совершеннѣе вода можетъ быть извлечена изъ него посредствомъ ряда колодцевъ. Даже въ тѣхъ случаяхъ, когда горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ на значительной глубинѣ подъ поверхностью почвы при болѣе крутыхъ склонахъ долинъ, направляющійся къ послѣднимъ потокъ обыкновенно имѣетъ болѣе сильное паденіе и большей частью также незначигельную высоту воды, такъ что и здѣсь примѣненіе ряда колодцевъ по своей стоимости и успѣху должно уступить мѣсто сооруженію штольни или сборной канавы. Такимъ образомъ, можно утвердительно сказать, что у склоновъ горъ рѣдко будетъ выгодно примѣнять какую-либо другую систему сбора воды, кромѣ сборной канавы или вообще горизонтальнаго сборнаго сооруженія.

Тѣмъ не менѣе бываютъ случаи, когда этотъ способъ сбора не предпочитается, а именно тогда, когда мы имѣемъ дѣло не съ однимъ, а съ цѣлымъ рядомъ водяныхъ этажей или слоевъ; здѣсь примѣненіе колодцевъ окажется наиболѣе выгоднымъ даже у склоновъ горъ, преимущественно при значительныхъ вертикальныхъ протяженіяхъ водоносныхъ слоевъ и неодинаковыхъ въ нихъ давленіяхъ.

Наконецъ, если вопросъ заключается въ извлеченіи инфильтрацій изъ трудно проницаемой почвы, то наиболѣе дѣйствительнымъ оказывается способъ сооруженія дренажа, т. е. способъ сбора воды помощью ряда длинныхъ трубъ, уложенныхъ на болѣе или менѣе близкихъ другъ къ другу разстояніяхъ. Этотъ способъ сбора воды имѣетъ значительныя преимущества тамъ, гдѣ водоносный слой самъ по себѣ отводитъ инфильтраціи весьма медленно, при чемъ послѣ продолжительнаго смачиванія, съ извѣстнаго момента поглощеніе имъ воды совершенно прекращается (см. отд. I, гл. 7). Дренажъ облегчаетъ подземный стокъ воды и отводитъ вмѣстѣ съ тѣмъ также и тѣ количества дождевыхъ и орошающихъ водъ, которыя безъ него стекали бы по поверхности почвы и поглощались бы открытыми водяными потоками.

Дѣйствіе горизонтальныхъ сборныхъ сооруженій, подъ которыми разумѣемъ всѣ разсматриваемые здѣсь способы, обыкновенно бываетъ чрезвычайно интенсивно. Этими сооруженіями легко достигнуть такого осушенія водоноснаго слоя, что послѣ нѣкотораго періода засухи притокъ воды уменьшается до весьма незначительной величины или даже до нуля; подобная цѣль, конечно, ни въ какомъ случаѣ не должна преслѣдоваться водосборными сооруженіями (см. отд. I, гл. 7). Эта полная осушка наступитъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ вообще меньше глубина горизонтальнаго водосборнаго сооруженія подъ поверхностью почвы, чѣмъ меньше притоковъ отъ обширныхъ областей инфильтраціи служитъ для питанія грунтоваго потока, и чѣмъ выше горизонтъ грунтовыхъ водъ расположенъ надъ горизонтомъ существующихъ въ глубокихъ долинахъ водосборныхъ сооруженій, удобно регулируемыхъ открытыми водяными потоками; такимъ образомъ весьма важно изучать способы сохраненія при подобныхъ условіяхъ необходимыхъ запасовъ въ водоносномъ слоѣ на случай засухъ.

Относящіяся сюда соображенія были разсмотрѣны нами выше (см. гл. 3, отд. II); здѣсь только опять повторяемъ, что правильность регулированія водянаго хозяйства можетъ быть достигнута сооруженіями для скопленія запасовъ въ періоды превышенія притока надъ расходомъ. Подобное сооруженіе оказывается необходимымъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ грунтовый потокъ имѣетъ сравнительно небольшую мощность; скопленіе или подпоръ воды большей частью производится такимъ путемъ, что противоположная поступленію грунтовой воды стѣнка сборнаго канала (штольни) дѣлается водонепроницаемой, и при помощи запорныхъ или водосливныхъ приспособленій (см. отд. II, гл. 3) получается возможность подпора воды. Еще лучше будетъ, если собираемая обширнымъ дренажемъ вода будетъ поступать въ подземное искусственно замкнутое валунное отложеніе, гдѣ она будетъ сохраняться въ видѣ запасовъ на случай засухъ подобно тому, какъ въ венеціанской цистернѣ; послѣднее, впрочемъ, оказывается возможнымъ въ исключительныхъ только случаяхъ [1]).

При трудно проницаемой почвѣ опытъ съ дренажемъ показываетъ, что „грунтовая вода при наиболѣе глубокомъ ея стояніи, вызываемомъ дѣйствіемъ дренажа, стоитъ не горизонтально, а образуетъ наклонную поверхность такого рода, что между двумя сосѣдними дренажными трубами образуется водораздѣлъ, при чемъ высота или наклонъ поверхности въ обѣ стороны зависитъ отъ проницаемости почвы. Этотъ наклонъ представляетъ собой наименьшее паденіе грунтовой воды, т. е. тотъ предѣлъ, при которомъ производимая понижающеюся грунтовой водой работа равна сопротивленію движенію“ [2]). Находящіеся въ трудно проницаемой почвѣ запасы грунтовой воды такимъ образомъ могутъ быть использованы помощью глубже расположенныхъ дренажей только до опредѣленнаго предѣла; полная же осушка никогда не достигнется. Чѣмъ глубже расположены дренажи, тѣмъ больше воды можетъ быть отвлечено отъ данной области.

Большинство руководствъ по этому предмету принимаетъ постоянный наклонъ покатости во время спокойнаго состоянія грунтовой воды, зависящій отъ липкости матеріала почвы; но съ другой стороны уровень находящейся въ покоѣ или въ состояніи внутренняго движенія грунтовой воды представляетъ собой также и кривую поверхность. Исходя изъ перваго предположенія, необходимо разсматривать осушающую точку (открытый гдѣ-либо шовъ дренажа) какъ вершину нѣкотораго конуса; производящія этой конической поверхности имѣютъ вездѣ одинаковый уклонъ β къ воображаемой вертикальной линіи, проведенной черезъ эту вершину, и отдѣляютъ осушаемую часть матеріала отъ заполненной водой. Этотъ конусъ представляетъ собой круговой конусъ, при чемъ оболочка его (боковая поверхность) пересѣкаетъ поверхность почвы по кругу, если послѣдняя расположена горизонтально, по эллипсу — если поверхность почвы расположена наклонно подъ угломъ между O и β, и по параболѣ или гиперболѣ, если она имѣетъ наклонъ подъ угломъ, равнымъ β или больше. Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ грунтовая вода будетъ собираться цѣлымъ рядомъ осушающихъ точекъ изъ всей лежащей за ней поверхностью; въ первомъ же случаѣ осушаемая область будетъ ограничена. Пересѣченіе проведенныхъ черезъ осушающія точки вертикалей съ поверхностью почвы постоянно располагается въ фокусѣ дренируемой фигуры (эллипса, параболы или гиперболы). Нетрудно видѣть сходство этихъ соотношеній съ приведенными выше (см. гл. 6) теоретическими соображеніями; для правильнаго перехода къ теоріи дренажа необходимо только обозначить паденіе, при которомъ происходятъ одни только внутреннія движенія, черезъ $\operatorname{tg}\ \beta$ и соотвѣтственно $u = k \operatorname{tg}\beta$, относя пониженіе уровня къ дну колодца или подошвѣ канала. Отсюда также видно, что если дренажъ (т. е. слѣдующія другъ за другомъ вершины круговыхъ конусовъ) параллеленъ естественному паденію поверхности почвы, дренированіе происходитъ менѣе выгодно, нежели въ томъ случаѣ, когда дренажъ расположенъ параллельно направленію поверхности почвы, т. е. горизонталямъ уровня грунтовой воды. Въ книгѣ Мерля (см. выноску выше) приведены аналитическіе результаты, полученные изъ указанныхъ основныхъ геометрическихъ условій.

Для нашей цѣли наиболѣе важный изъ всѣхъ относящихся сюда результатовъ заключается въ томъ, что постоянное теченіе грунтовыхъ водъ въ дурно проницаемыхъ породахъ

---

[1]) Примѣры подобныхъ искусственныхъ подземныхъ резервуаровъ находимъ въ Провенѣ и С. Назерѣ (во Франціи); доведенная до непроницаемаго слоя водонепроницаемая плотина образуетъ здѣсь подземную запруду долины (ср. фиг. 99).

[2]) Merl, E. „Neue Theorie der Bodenentwässerung“. 1890.

почвы — предполагая существованіе необходимыхъ для теченія условій — разовьется естественнымъ путемъ лишь въ томъ случаѣ, когда при относительно большомъ протяженіи горнаго склона наклонъ уровня больше угла β въ указанномъ выше направленіи. Во всѣхъ же другихъ случаяхъ производительность дренажа или одного изъ сборныхъ сооруженій, параллельныхъ горизонту воды, бываетъ только перемежающаяся. Насколько это послѣднее явленіе важно для цѣлей дренированія или осушки почвы, настолько же оно нежелательно для водосборныхъ сооруженій.

Легко видѣть, что постоянная производительность дренажа можетъ быть достигнута искусственнымъ путемъ, посредствомъ орошенія поверхности почвы, какъ было, впрочемъ, указано выше. Въ подобномъ случаѣ емкость грунтоваго разервуара постоянно обновляется; такимъ образомъ — при соотвѣтственно глубокомъ залеганіи дренажа — возможно получить удовлетворительную, какъ въ количественномъ, такъ и въ качественномъ отношеніи, производительность дренажа даже при сравнительно отлогомъ наклонѣ почвы. Происходящій здѣсь процессъ представляетъ собой ничто иное, какъ фильтрованіе, при которомъ остающіяся на поверхности обыкновеннаго фильтра вещества въ данномъ случаѣ расходуются растительностью, т. е. удаляются естественнымъ путемъ.

Польза, оказываемая дренажемъ водоснабженію, какъ неоднократно упоминалось, состоитъ въ томъ, что при его посредствѣ непроницаемые роды почвы могутъ быть обращены въ проницаемое. Чистота получаемой такимъ образомъ воды, ея температура и прозрачность, при неиспорченной почвѣ и мало загрязненномъ орошеніи (дождѣ, ручьѣ и т. д.), не оставляютъ желать ничего лучшаго.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда по даннымъ существующимъ условіямъ сомнительно, какое изъ обоего рода сооруженій, колодцы или горизонтальные водосборы, соотвѣтствуютъ наименьшей начальной стоимости сооруженія, необходимо произвести сравнительныя смѣтныя исчисленія. Можетъ иногда случиться, что при нѣкоторыхъ условіяхъ наша цѣль будетъ достигнута комбинаціей обоихъ способовъ сбора. Послѣдній случай можетъ имѣть мѣсто, напр., тогда, когда годный къ употребленію и текущій не очень глубоко подъ поверхностью почвы обширный грунтовый потокъ съ небольшой высотой воды расположенъ надъ непроницаемымъ слоемъ, подъ которымъ находится другой тоже годный къ употребленію артезіанскій потокъ. Артезіанскій потокъ можетъ быть вполнѣ использованъ помощью отдѣльнаго колодца, между тѣмъ какъ потокъ съ открытымъ, соприкасающимся съ воздухомъ, уровнемъ можетъ быть цѣлесообразно перехваченъ путемъ сборныхъ каналовъ на большомъ протяженіи. Очень часто въ подобныхъ случаяхъ оказывается раціональнымъ обратить артезіанскій колодецъ въ сборный и впускать въ него истокъ изъ сборныхъ каналовъ. Комбинація въ подобномъ случаѣ весьма выгодна въ отношеніи водяного хозяйства: когда сборные каналы даютъ мало воды или соотвѣтственно, когда уровень верхняго потока понижается, то это пониженіе вызываетъ усиленное отвлеченіе изъ артезіанскаго потока, и обратно. Переходя къ детальному разсмотрѣнію горизонтальныхъ водосборныхъ сооруженій, необходимо различать между ними:

1. Открытые каналы.
2. Дренажи.
3. Сборныя трубы.
4. Сборные каналы.
5. Проходимыя сборныя сооруженія (штольни, галлереи).

Подобныя расположенія отчасти уже разсмотрѣны нами выше (см. гл. 4), при описаніи обдѣлокъ ключей.

1. Открытые каналы несомнѣнно представляютъ собой наиболѣе дешевый, но сопряженный съ большими неудобствами способъ сбора грунтовыхъ водъ. Теоретически здѣсь могутъ быть примѣнены приведенныя въ главѣ 6 соображенія [1]). Если грунтовый потокъ доставляетъ, подобно открытому каналу, постоянно одинаковое количество воды, и если при этомъ истокъ тоже не измѣняется, то уровень воды грунтоваго потока въ состояніи равновѣсія будетъ имѣть постоянное положеніе во всѣхъ точкахъ; это положеніе, наоборотъ, будетъ безпрерывно измѣняться, если притекающее и истекающее количество воды мѣняется, какъ это наиболѣе часто и бываетъ. Неудобство еще состоитъ въ томъ, что дождевая вода непосредственно достигаетъ уровня воды въ каналѣ и взмучиваетъ находящуюся въ немъ воду. Кромѣ того при открытыхъ каналахъ не могутъ быть устранены злоумышленныя и случайныя загрязненія воды, и въ подобныхъ каналахъ безъ исключенія тотчасъ же развиваются флора и фауна. Поэтому вода изъ подобныхъ каналовъ можетъ быть примѣнена для водоснабженія лишь въ томъ случаѣ, когда она подвержена искусственному фильтрованію.

Большая часть подобныхъ сборныхъ сооруженій встрѣчается въ Голландіи, гдѣ они примѣняются для дренированія дюнъ; въ теченіе довольно долгаго времени тамъ не допускался сборъ грунтовыхъ водъ на глубинѣ ниже поверхности моря. Вслѣдствіе этого колодцы не нашли себѣ тамъ широкаго примѣненія. Сборные каналы устроены съ подошвами, расположенными на 1 до 2 метровъ выше ежедневнаго высокаго уровня морской воды; они врѣзываются въ дюны и съ небольшимъ паденіемъ (1 : 5000) направляются къ открытому резервуару. Ширина подошвы этихъ каналовъ (за исключеніемъ небольшого числа старыхъ сооруженій) составляетъ 3 метра, а глубина воды въ среднемъ 1,8 метровъ; откосы сдѣланы съ полуторнымъ или двойнымъ заложеніемъ отъ самой подошвы. На 2,5 метровъ выше подошвы, располагающейся въ нѣкоторыхъ случаяхъ на 22 метра подъ землей, съ правой и лѣвой стороны устроены бермы шириною 80 сантиметровъ Для избѣжанія устройства мостовъ черезъ каналы они раздѣлены поперечными плотинами шириною у гребня 4 метра, сквозь которыя на уровнѣ подошвы проходятъ трубопроводы діам. 400 милиметр. съ запирающимися задвижками. Эти трубы устанавливаютъ сообщеніе между участками канала, отдѣленными другъ отъ друга плотинами.

Для водоснабженія города Амстердама вода добывается изъ глубины до 4 метр. въ дюнахъ на разстояніи 2½ километр. отъ морского берега, при чемъ качества грунтовой воды получаются вполнѣ удовлетворительныя; на этой глубинѣ примѣнены не открытые каналы, а сборныя трубы. По сообщенію главнаго инженера Амстердамскаго водоснабженія Ванъ Гассельта, 1 литръ этой воды даетъ послѣ выпариванія остатокъ 295 милиграммовъ и потерю отъ прокаливанія 56 милигр.; въ водѣ содержится на 1 литръ: кремневой кислоты 8 милигр., окиси желѣза и окиси алюминія 5 милигр., сѣрнокислой извести 36 милигр., углекислой извести 176 милигр., углекислой магнезіи 8½ милигр., хлористаго натра 59,3 милигр.; при этомъ окончательно отсутствуютъ амміакъ, азотная и азотистая кислоты и фосфорная кислота. Для окисленія органическихъ веществъ требуется 7,8 милигр. марганцовокислаго кали; жесткость составляетъ 9,6 нѣмецкихъ градусовъ (см отд IV, гл. 1). Помощью Амстердамскихъ каналовъ отвлекается слой воды толщиною 27 сантим. съ площади дюнъ около 2500 гектаръ, т. е. въ сборные каналы стекаетъ ⅓ всего количества падающихъ на эту область дождей (составляющихъ 80 сантим.). По сообщенію Станга въ другихъ областяхъ количества отвлекаемой воды составляютъ отъ 70 до 80% всего количества осадковъ на дюнахъ.

Здѣсь считаемъ нелишнимъ прибавить, что въ дюнахъ вершина грунтоваго горизонта расположена почти въ срединѣ дюны, отъ которой происходитъ его паденіе съ одной стороны по направленію къ морю, а съ другой — къ материку.

Очистка открытыхъ каналовъ отъ размножающихся на откосахъ водяныхъ растеній и проч. составляетъ весьма хлопотливую и довольно дорогую работу, какъ и само устройство открытыхъ каналовъ. Поэтому въ послѣднее время открытые каналы съ успѣхомъ замѣняются колодцами, снабженными хрящевыми фильтрами, и сборными трубами [2]).

---

[1]) Необходимо здѣсь указать на то, что при опредѣленномъ положеніи горизонта грунтовыхъ водъ открытый каналъ можетъ измѣнить это положеніе двоякимъ путемъ: во-первыхъ пониженіемъ уровня въ каналѣ, и во-вторыхъ, расположеніемъ послѣдняго обратно направленію или по направленію грунтоваго потока. Измѣняющаяся глубина воды въ каналѣ по своему дѣйствію на горизонтъ грунтовыхъ водъ соотвѣтствуетъ боковому перемѣщенію предѣла дренированія, и обратно.

[2]) Вблизи моря, а также и на островахъ въ морѣ, колодцы опускаются ниже уровня моря, такъ какъ прѣсная вода тоже находится глубже уровня моря.

2. Дренажи. Въ прежнее время дренажи устраивались въ видѣ фашинныхъ, хрящевыхъ или каменныхъ заполненій сточныхъ канавъ или желобовъ; но въ подобномъ видѣ они для водоснабженія не могутъ быть примѣнимы, такъ какъ съ одной стороны устроенная такимъ путемъ набивка легко погружается или вдавливается въ почву, а съ другой стороны она легко заносится иломъ. Наоборотъ, вполнѣ раціонально дѣлать подобную набивку изъ камней или крупнаго хряща, если она плотно укладывается въ почвѣ и предохранена отъ заноса иломъ правильно расположенными песчаными слоями. Подобныя сооруженія оказываются удобными для дренированія крутыхъ откосовъ (преимущественно откосовъ на выходныхъ концахъ породъ), на которыхъ выходъ воды происходитъ весьма неправильно. Вслѣдствіе сильно извилистаго пути воды между отдѣльными камнями набивки, движеніе воды встрѣчаетъ большія сопротивленія, вслѣдствіе чего оно происходитъ медленно и не производитъ размывающаго дѣйствія. Песчаные слои требуются исключительно для той цѣли, чтобы препятствовать прониканію поверхностной воды къ ключамъ; поэтому они, подобно фильтрамъ, должны быть устроены изъ матеріала съ увеличивающимися снаружи вовнутрь зернами, такъ чтобы весь дренажъ былъ окруженъ этимъ фильтромъ и былъ бы открытъ только со стороны внутренней породы, изъ которой выходятъ ключи. Необходимо озаботиться тщательнымъ укрѣпленіемъ набивки.

Затѣмъ при такихъ дренажныхъ сооруженіяхъ необходимо озаботиться, чтобы по близости ихъ не было никакихъ деревьевъ или кустарниковъ, такъ какъ глубоко проникающіе корни этихъ растеній образуютъ въ каменной набивкѣ корневые узлы, разростающіеся на громадныхъ протяженіяхъ и постепенно преграждающіе проходъ воды, которая направляется по другимъ, нежелательнымъ для насъ путямъ. Замощеніе насыпи или, при пологихъ откосахъ, покрываніе поверхности дерномъ и засѣиваніе травой необходимо для предохраненія ихъ отъ сплыванія.

Что же касается глубины и направленія дренажей, то они должны быть проведены по меньшей мѣрѣ на 2 метра подъ землей и, въ зависимости отъ поступленія воды, должны быть устроены въ видѣ отводныхъ канавъ съ небольшимъ паденіемъ вдоль откосовъ, или же — въ случаѣ отдѣльныхъ выступающихъ ключей — въ видѣ правильно развѣтвленныхъ сборныхъ сооруженій. Отдѣльныя вѣтви или рукава должны быть соединены въ колодцевой камерѣ, расположенной въ наиболѣе глубокомъ мѣстѣ сооруженія.

Весьма большое число подобныхъ водосборовъ устраивается при проведеніи желѣзныхъ дорогъ для отвода воды изъ появляющихся въ большомъ числѣ въ выемкахъ ключей, а иногда также для дренированія откосовъ, но чаще всего для водоснабженія станціонныхъ колодцевъ и колодцевъ при сторожевыхъ домахъ на пути.

На высокихъ горахъ, гдѣ ключи часто появляются на крутыхъ обрывахъ въ видѣ весьма мощныхъ истоковъ, не всегда возможно отвести воду въ трубы или каналы, такъ какъ скорость воды слишкомъ велика и вредно дѣйствуетъ на стѣнки трубъ, при чемъ регулированіе притока при измѣняющемся уровнѣ воды является невозможнымъ. Въ большей части случаевъ оказывается весьма труднымъ и даже невозможнымъ устройство прочныхъ обыкновенныхъ сточныхъ каналовъ для отвода воды. Въ подобныхъ случаяхъ съ успѣхомъ примѣняются заполненныя хрящевой набивкой широкія трубы, черезъ которыя вода проходитъ съ допускаемой еще во всѣхъ случаяхъ скоростью.

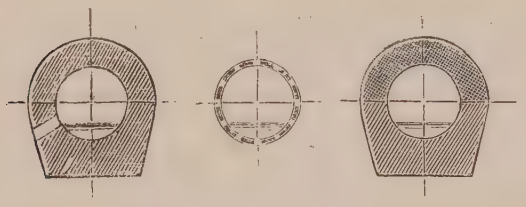
3. Сборныя трубы. Трубы, примѣняемыя для такъ называемаго дренажа или водосбора, изготовляются изъ обожженной (гончарной) глины діаметр. отъ 50 милим. и больше, въ зависимости отъ пропускаемаго по нимъ количества воды; при вычисленіи діаметра обыкновенно берутъ въ разсчетъ наибольшія количества протекающей воды. При мягкой подпочвѣ (напр., плывучемъ пескѣ, пескѣ съ значительной примѣсью глины и проч.) трубы, преимущественно небольшихъ калибровъ, должны быть уложены на доскахъ съ прибитыми къ нимъ съ обѣихъ сторонъ трубы планками для устраненія уклоненія отдѣльныхъ трубъ. Трубы укладываются въ притыкъ другъ къ другу; онѣ состоятъ изъ отдѣльныхъ прямыхъ звеньевъ небольшой длины (250 до 300 милиметр.) и должны быть хорошо обожжены. Черезъ стыки грунтовая вода проникаетъ въ трубы, а вмѣстѣ съ ней туда поступаютъ содержащіяся въ ней взвѣшенныя примѣси; поэтому весьма раціонально будетъ путемъ цѣлесообразно расположеннаго хрящевого фильтра устроить песчаную перемычку указаннымъ выше путемъ. Трубы по возможности должны быть расположены подальше, по меньшей мѣрѣ на 8 метр. отъ растущихъ тамъ деревьевъ, чтобы тонкія корневыя волокна послѣднихъ не могли бы проникнуть въ трубы и тамъ разростаться; чѣмъ глубже уложены трубы, тѣмъ онѣ лучше предохранены

отъ этого вредно дѣйствующаго обстоятельства. Если на небольшихъ протяженіяхъ оказывается невозможнымъ обойти растущія вблизи деревья, то слѣдуетъ примѣнять сплошныя чугунныя трубы или же снабдить гончарныя трубы предохранительными стыками, напр. асфальтовыми или цементными кольцами, глиняными муфтами, каменнымъ каналомъ и т. под.

Даже при наилучшимъ образомъ устроенномъ предохранительномъ фильтрѣ трубы по временамъ подвержены заносу иломъ отъ осадковъ, образующихся почти изъ всякой грунтовой воды. Преимущественно здѣсь подразумѣваются осадки извести и желѣза. Растворенныя въ водѣ углекислая известь и соли закиси желѣза тотчасъ же выдѣляются въ видѣ углекислой извести и соотвѣтственно солей окиси желѣза, какъ только къ водѣ примѣшивается нѣкоторое количество воздуха, что почти всегда происходитъ въ дренажахъ, такъ какъ они разсчитаны для наибольшаго протекающаго количества воды, между тѣмъ какъ черезъ нихъ обыкновенно проходитъ гораздо меньшее количество воды, которая такимъ образомъ не заполняетъ всего сѣченія трубы. Весьма полезно, если это оказывается возможнымъ, отъ времени до времени удалять это отложеніе изъ трубъ, преимущественно окись желѣза.

Поэтому всѣ сборныя сооруженія, а также и дренажи должны быть устроены такъ, чтобы ихъ можно было чистить протягиваніемъ черезъ нихъ щетки или банника [1]). Осмотръ трубъ возможенъ только въ томъ случаѣ, когда ось вѣтви трубы образуетъ прямую линію, такъ что при освѣщеніи съ одного конца трубы она легко можетъ быть осмотрѣна съ другого конца; при подобныхъ расположеніяхъ весьма удобно производить чистку трубъ протягиваніемъ черезъ нихъ щетки. Такимъ образомъ сборныя трубы слѣдуетъ уложить по совершенно прямымъ линіямъ, и на разстояніяхъ отъ 50 до 100 метр. должны быть устроены смотровыя или дозорныя шахты, ширина которыхъ должна быть достаточна для работы со щеткой (по меньшей мѣрѣ 1,8 метр. по направленію длинной оси).

Вмѣсто простыхъ дренажей изъ короткихъ гончарныхъ трубъ, при крупныхъ водосборныхъ сооруженіяхъ примѣняются также дырчатыя гончарныя трубы съ муфтовыми соединеніями, цементныя трубы и чугунныя трубы съ просверленными стѣнками, какъ показано на фиг. 171.



Фиг. 171. Поперечныя сѣченія сборныхъ трубъ.

Дырчатыя гончарныя и цементныя трубы во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ прочность и долговѣчность ихъ признается вполнѣ достаточной, имѣютъ предъ чугунными трубами то преимущество, что не подвержены ржавленію, которое неизбѣжно даже при самой тщательной асфальтировкѣ, преимущественно приржавливаніе отверстій. Но съ другой стороны при укладкѣ гончарныхъ и цементныхъ трубъ необходимо требуется прочная подошва или основаніе; кромѣ того, скорость воды въ цементныхъ трубахъ не должна превышать 1 метр. въ секунду, если не желательно подвергать стѣнки трубъ опасности отъ механическаго дѣйствія на нихъ воды.

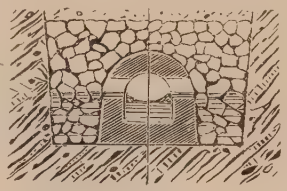
Въ чугунныхъ трубахъ (средняя на фиг. 171) отверстія или щели для полученія водопропускающей поверхности продѣлываются послѣ ихъ изготовленія, между тѣмъ какъ въ цементныхъ трубахъ боковыя впускныя отверстія для воды продѣлываются при самомъ изготовленіи трубъ, причемъ отверстіямъ придается подъемъ снизу кверху для препятствованія попаданію песку. Поперечный разрѣзъ подобной трубы показанъ слѣва на фиг. 171. Трубы изготовляются на бетонныхъ заводахъ большими массами и въ послѣднее время начинаютъ входить въ общее употребленіе. Если притокъ воды происходитъ съ обѣихъ сторонъ, то впускныя щели дѣлаются съ обѣихъ сторонъ трубы. Въ обожженныхъ гончарныхъ трубахъ съ муфтами отверстія для прохода воды обыкновенно продѣлываются по всей окружности трубы.

---

[1]) Этимъ путемъ могутъ быть удалены песокъ и илистыя отложенія. Если возможно, то вѣтвямъ дренажа слѣдуетъ придавать такіе діаметры и соотвѣтственно такія паденія, чтобы при высокихъ уровняхъ воды подобные легко подвижные осадки могли бы вымываться изъ трубъ увеличенной скоростью теченія въ нихъ воды.

Изображенный справа на фиг. 171 разрѣзъ даетъ поперечное сѣченіе бетонной трубы, верхняя сводчатая покрышка которой проницаема для воды. Сводчатая часть, или покрышка этой трубы, состоитъ изъ гравія или щебня, посаженныхъ въ чистый жидкій цементный растворъ, избытокъ котораго какъ разъ достаточенъ для удержанія камней послѣ его высыханія; нижняя часть трубы или собственно желобъ сдѣланъ изъ непроницаемаго бетона. Вслѣдствіе подобнаго изготовленія покрышки трубы она вполнѣ водопроницаема, и эту трубу можно изготовлять прямо въ самой канавѣ. Эта система впервые была примѣнена фирмой Delune & Co. въ Гренобле (во Франціи) и нашла себѣ обширное примѣненіе. Такъ какъ верхняя часть трубы дѣйствуетъ подобно фильтру, то проникающая въ трубу вода должна быть чиста, для предупрежденія занесенія иломъ и прекращенія работы дренажа.

При водоснабженіи Парижа изъ Vanne ключи Patures и Maroy собраны въ цементныя трубы, поперечное сѣченіе которыхъ изображено на фиг. 172. Онѣ имѣютъ широкое основаніе, причемъ подошвы трубъ или собственно желоба сдѣланы шире сводчатыхъ покрытій. Послѣднія уложены на мѣсто послѣ изготовленія и плотной укладки нижней части трубы на значительныхъ протяженіяхъ; впускныя отверстія здѣсь постоянно расположены на стыкахъ перекрытія. Вода такимъ образомъ попадаетъ въ сборную трубу черезъ нѣкотораго рода водосливъ. Для предупрежденія попаданія песку весь дренажъ обложенъ щебнемъ приблизительно на 20 сантиметровъ выше замка верхняго свода. Та же конструкція съ успѣхомъ примѣнена при устройствѣ водоснабженія города Аваллона.



Фиг. 172.
Масштабъ 1:40 нат. вел.

При всѣхъ этихъ сооруженіяхъ требуется особая тщательность при укладкѣ отдѣльныхъ вѣтвей трубъ; обыкновенно устраивается обкладка изъ хряща вокругъ всей трубы, а въ крайнемъ случаѣ слѣва и справа трубы укладывается каменная набивка, плотно утрамбовываемая къ стѣнкамъ канавы. Если канава глубока, и если временами или постоянно существуетъ притокъ воды изъ выше расположенныхъ слоевъ, то необходимо устроить замыкающуюся вверху песчаную набивку; вообще необходимо наблюдать за тѣмъ, чтобы укладываемый выше трубъ набивочный матеріалъ былъ бы по возможности чистъ, такъ какъ при высокихъ уровняхъ воды онъ подвергается вымыванію проникающей въ него грунтовой водой.

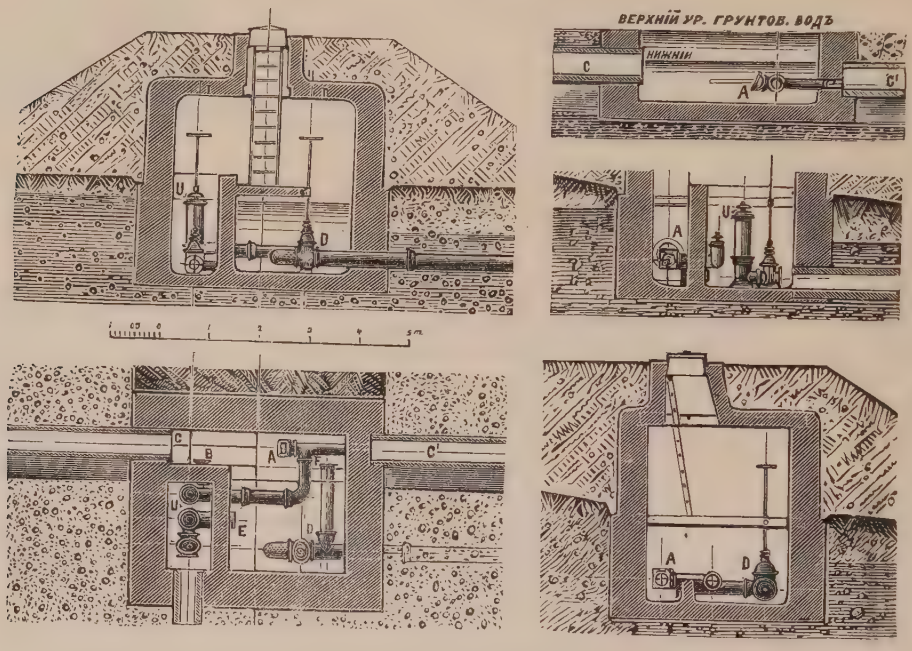
Устья вѣтвей подобныхъ сборныхъ каналовъ располагаются большей частью въ устроенныхъ на подобіе колодцевъ сборныхъ бассейнахъ. Иногда выпускъ изъ сборныхъ каналовъ происходитъ свободно, такъ что верхняя часть сборнаго канала постоянно остается наполненной воздухомъ; въ нѣкоторыхъ же случаяхъ, какъ, напр., въ изображенномъ на фиг. 70 (стр. 193) сборныя вѣтви оканчиваются подъ водой [1]).

При свободномъ истокѣ сборной трубы въ низкомъ грунтовомъ потокѣ, во всякое данное время происходитъ полная осушка прорѣзываемаго сборнымъ каналомъ водоноснаго слоя, и производительность тогда измѣняется параллельно увеличенію или уменьшенію грунтоваго потока, вслѣдствіе измѣняющихся количествъ воды отъ неравномѣрныхъ инфильтрацій въ почву. Если уровень воды въ сборномъ бассейнѣ выше замка свода сборнаго канала, то осушка происходитъ несовершенная, и въ подобныхъ случаяхъ въ водоносномъ слоѣ могутъ быть скоплены запасы, назначенные для использованія въ сухое время путемъ пониженія уровня воды въ сборномъ бассейнѣ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ въ сборные бассейны протекаетъ грунтовая вода по каналамъ, подошвы которыхъ расположены на различныхъ высотахъ отъ уровня моря, соотвѣтственно положенію непроницаемаго слоя; въ подобныхъ случаяхъ глубже расположенные сборные каналы начинаютъ вполнѣ дѣйствовать лишь тогда, когда вода изъ выше расположенныхъ каналовъ изливается въ видѣ водослива. Устройствомъ соотвѣтственныхъ подпорныхъ приспособленій можно регулировать притокъ согласно потребности; послѣднее обстоятельство имѣетъ значеніе преимущественно тамъ, гдѣ въ обыкновенное время выше расположенный

[1]) Къ сооруженіямъ послѣдняго типа принадлежатъ упомянутыя выше комбинаціи сборныхъ трубъ ея колодцами.

сборный каналъ даетъ достаточное количество воды, и употребленіе глубже расположенныхъ каналовъ вызываетъ нежелательное пониженіе уровня въ сборномъ бассейнѣ.

Интересный примѣръ соединенія подобныхъ, устроенныхъ на различныхъ высотахъ, дренажей мы видимъ въ сборѣ ключевой воды для водоснабженія города Фридрихсгафена на Боденскомъ озерѣ. Примѣненные для этого водоснабженія ключи выступаютъ изъ легко проницаемыхъ промежуточныхъ наслоеній въ осадочномъ конгломератѣ въ Иттенгаузенѣ вблизи рѣки Ахъ и расположены приблизительно на 20 метровъ выше уровня озера. Сборныя или обдѣлочныя сооруженія представляютъ собой сборные каналы изъ дырчатыхъ цементныхъ трубъ, расположенные на разстояніи 4,8 километровъ отъ Фридрихсгафена. Такъ какъ городъ Фридрихсгафенъ самъ по себѣ расположенъ на нѣсколько метровъ выше средняго уровня озера, то при расположеніи внутри города гидрантовъ и ихъ повсемѣстной работѣ теряемая высота напора должна быть по возможности мала. Поэтому рѣшили остановиться на сравнительно большомъ діаметрѣ провода и стремились получать находящуюся въ осадочныхъ отложеніяхъ грунтовую воду по возможности выше.



Фиг. 173. Сборъ воды города Фридрихсгафена.

Осадочный конгломератъ при Иттенгаузенѣ имѣетъ бетонообразное строеніе, и въ его прослойкахъ (изъ размытыхъ песковъ и валуновъ) вода является въ двухъ горизонтахъ; рядъ ключей верхняго горизонта расположенъ на 60 сантиметрахъ выше ключей нижняго горизонта. Оба эти ряда ключей даютъ обильныя количества воды, такъ что количество ея изъ верхнихъ ключей оказывается достаточнымъ для города, и только въ исключительныхъ случаяхъ приходится прибѣгать къ пользованію нижними ключами.

Все сооруженіе расположено такъ, что два сборныхъ канала C и C' (фиг. 173) каждаго ряда ключей оканчиваются въ промежуточномъ сборникѣ, отдѣленномъ стѣной отъ главнаго сборнаго бассейна. Оба ряда ключей не связаны между собой; колодезная камера или промежуточный сборникъ устроенъ водонепроницаемымъ на находящемся тамъ непроницаемомъ конгломератѣ и изолированъ также съ боковъ. Сборная труба C свободно изливаетъ воду изъ верхняго ряда ключей въ промежуточный сборникъ; изъ провода C', ведущаго воду изъ нижняго ряда ключей, вода можетъ изливаться лишь тогда, когда открывается свободно-движущійся клапанъ A. Это открываніе клапана невозможно до тѣхъ поръ, пока уровень воды въ главномъ сборномъ бассейнѣ не понизится глубже оси трубы, выходящей изъ C' въ промежуточный сборникъ, какъ показано на фиг. 173. При наступленіи этого момента, вода изъ C' вытекаетъ до тѣхъ поръ, пока уровень воды въ главномъ сборномъ бассейнѣ опять подымается, т. е. пока потребность города Фридрихсгафена опять можетъ быть удовлетворена од-

ними только верхними ключами. Въ продолженіе того времени, когда верхній сборъ достаточенъ для водоснабженія, грунтовая вода изъ нижней сборной вѣтки *C'* изливается черезъ сливной трубопроводъ *FU* (см. горизонтальный разрѣзъ) въ рѣку Ахъ. Верхній сборъ тоже имѣетъ въ колодезной камерѣ при *E* сливную и спускную трубы; промежуточный бассейнъ при *B* можетъ быть опорожненъ черезъ направленную къ сливной камерѣ трубу. Крышки на сливныхъ трубахъ *U* служатъ для препятствованія проникапію воды въ трубопроводы при высокомъ ея стояніи въ рѣкѣ Ахѣ. Остальныя подробности видны изъ чертежа и не требуютъ дальнѣйшихъ поясненій. Устроенная изъ бетона весьма простая колодезная камера, изъ которой при *D* выходитъ главный трубопроводъ діам. 280 милим., имѣющій еще особое соединеніе съ промежуточнымъ сборникомъ для исключительныхъ случаевъ, закрыта сверху чугунной шахтной крышкой. Эта крышка снабжена бортами, переходящими за раму для предупрежденія попаданія въ камеру различныхъ нечистотъ снаружи. Желѣзная лѣстница ведетъ къ устроенной изъ бетона между двутавровыми балками площадкѣ, съ которой можно дѣйствовать всѣми имѣющимися въ колодцѣ приспособленіями.

Способъ сбора грунтовой воды помощью сборныхъ трубъ или небольшихъ каналовъ относится къ довольно глубокой древности и примѣнялся еще римлянами. Но въ прежнее время устраивали простые, выложенные изъ кирпича или неправильной формы камня, сточные каналы съ боковыми продолговатыми отверстіями, и перекрывали ихъ каменными плитами; но тѣмъ не менѣе у римлянъ уже встрѣчаются обожженныя гончарныя трубы, преимущественно въ римской „Кампаньи“.

4. Проходные сборные каналы. При значительныхъ количествахъ проходящей черезъ сборныя сооруженія воды, сборныя вѣтви должны быть устроены значительныхъ размѣровъ; такимъ образомъ небольшія трубы естественно переходятъ въ болѣе обширные проходные каналы. Если требуется проникать во внутрь сборнаго сооруженія во всякое данное время, то даже и при незначительныхъ количествахъ воды подобные большіе каналы являются неизбѣжными.

Всякая труба или каналъ вообще можетъ считаться проходимымъ, если ширина или діаметръ его въ свѣту составляетъ 60 сантим. или болѣе; въ поперечномъ сѣченіи обыкновенно высота дѣлается больше ширины, чтобы надъ протекающей черезъ каналъ водой оставалось бы по возможности большее воздушное пространство. Необходимо также приiять во вниманіе подпоръ воды и опасность отъ затопленія рабочихъ при ихъ проползаніи сквозь каналъ, такъ что и ввиду этого необходимо оставлять достаточной высоты воздушное пространство. Въ общемъ это устройство для сбора воды подобно вышеописанному (п. 3); для поступленія воды обыкновенно устраиваются боковыя щели, а именно: съ обѣихъ сторонъ, если каналъ расположенъ въ грунтовомъ бассейнѣ, и съ одной стороны, если каналомъ улавливается потокъ съ небольшой сравнительно высотой уровня воды. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ стѣнки канала дѣлаются непроницаемыми для воды, а для поступленія воды въ каналъ служитъ только подошва его.

Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ относительно притока воды существуютъ зависимости, приведенныя выше (см. гл. 6).

Проходные сборные каналы въ прежнее время примѣнялись весьма часто, преимущественно для цѣлей такъ называемой естественной фильтраціи, на берегахъ рѣкъ [1]). При этомъ опытъ скоро показалъ, что увеличеніе ширины подошвы открытаго снизу канала больше 50—60 сантиметровъ не имѣетъ никакого замѣтнаго вліянія на количество даваемой имъ воды. Поэтому, напримѣръ, третій рядъ примѣненныхъ въ Тулузѣ каналовъ имѣетъ ширину только въ 60 сантиметровъ при высотѣ 150 сантиметровъ прямоугольной профили, перекрытой каменными плитами. Не смотря на результаты опытовъ и на теоретически выясненныя основанія этого явленія, постоянно еще дѣлаются попытки увеличенія производительности путемъ широкихъ подошвъ каналовъ; поэтому мы считаемъ нелишнимъ еще разъ указать на полную безполезность такихъ попытокъ. Большая ширина подошвы находитъ себѣ оправда-

[1]) Подробное описаніе первыхъ подобныхъ фильтровыхъ каналовъ въ Тулузѣ, Анжерѣ и Ліонѣ находится у Дюпюи въ его сочиненіи: „Traité de la conduite et de la distribution des eaux“; точно также описаніе каналовъ для водоснабженія Генуи и Перта находимъ у Kirkwood'a, въ „Filtration des Flusswassers zur Versorgung der Städte.“ 1876.

ніе только въ тѣхъ случаяхъ, когда для стока воды изъ сборнаго канала требуется большая профиль, т. е. въ случаяхъ большой производительности, съ цѣлью достиженія небольшой скорости теченія при незначительной высотѣ воды, для осажденія изъ нея песку.

Примѣняемыя въ практикѣ профили каналовъ имѣютъ всевозможныя формы: онѣ бываютъ прямоугольныя, круглыя и овальныя съ вершиной овала, обращенной кверху; во многихъ случаяхъ профили сѣченія каналовъ состоятъ изъ дугъ круга и прямыхъ линій. Устройство каналовъ обусловливается доступнымъ въ данномъ мѣстѣ строительнымъ матеріаломъ. Если бутовый камень и каменныя плиты легко и дешево добыть, то предпочитаютъ каменные прямоугольной профили каналы. Если по даннымъ мѣстнымъ условіямъ необходимо употреблять кирпичъ, то весьма умѣстны будутъ профили овальныя и круглыя; если на мѣстѣ работъ недорогъ песокъ и хрящъ, то примѣняютъ бетонныя сооруженія и т. д.

Въ устроенномъ подъ руководствомъ автора водоснабженіи города Фрейбурга примѣнены сборныя сооруженія помощью проходныхъ каналовъ, изображенныхъ на фиг. 175. Мы сперва приведемъ здѣсь обзоръ этихъ сооруженій, а затѣмъ уже перейдемъ къ деталямъ каналовъ. Добываніе воды происходитъ на 5 километровъ выше Фрейбурга въ осадоч-

Фиг. 174. Ситуаціонный планъ водосборныхъ сооруженій для гор. Фрейбурга (въ Баваріи).

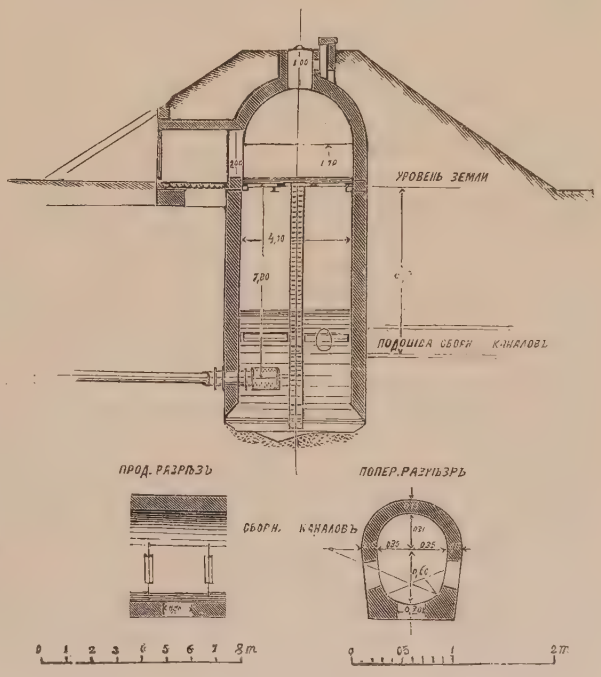
ныхъ отложеніяхъ Дрейзамской долины при деревнѣ Эбнетѣ. Долина содержитъ въ себѣ обширныя отложенія хрящей и валуновъ частью въ чистомъ видѣ, частью съ прослойками глины и частью сплоченныхъ въ плотные конгломераты. Въ этихъ конгломератахъ и вымыта долина рѣки Дрейзамъ въ области ключей, при чемъ слѣдуетъ замѣтить, что эти конгломераты, насколько можно было констатировать при предварительныхъ работахъ, простираются на большомъ протяженіи въ почвѣ долины, но бываютъ сильно трещиноваты Надъ этими конгломератами, справа и слѣва рѣки Дрейзамъ, поднимаются слои изъ водоносныхъ песковъ и обломковъ въ видѣ террасъ съ ясно обозначенными прежними высокими берегами. Вездѣ можно тамъ видѣть, что при извѣстномъ пониженіи уровня грунтовыхъ водъ, вода выступаетъ снизу изъ трещинъ и щелей конгломерата. Соотвѣтственно этимъ наблюденіямъ и были устроены сборныя сооруженія.

Общее расположеніе показано на фиг. 174 [1]). Около 1 километра выше Эбнета расположенъ сборный колодецъ (обозначенный на планѣ „Reservoir“), отъ котораго отвѣтвляются

[1]) Относительно общаго оріентированія замѣтимъ здѣсь, что направленіе Фрейбургъ-Гюнтеръ идетъ съ сѣвера на югъ, а Фрейбургъ-Эбнетъ съ востока на западъ.

каналы. Отвѣтвляющійся къ сѣверо-востоку каналъ имѣетъ длину 90 метр.; въ случаѣ надобности въ этотъ каналъ можетъ быть подведено громадное количество воды изъ долины рѣки Эшбахъ посредствомъ водосбора, показаннаго на фиг. 174 пунктиромъ. Отвѣтвляющійся къ юго-востоку каналъ тоже имѣетъ длину 90 метр.; къ этому каналу въ послѣднее время проведена вода изъ устроеннаго по проекту автора дальнѣйшаго сборнаго сооруженія на южномъ берегу Дрейзама, виднаго на ситуаціонномъ планѣ, Необходимо здѣсь замѣтить, что послѣднее сооруженіе употребляется только лѣтомъ, когда потребность въ водѣ сильно возростаетъ, а въ остальное время, когда начальное сооруженіе оказывается достаточнымъ, оно закрывается.

Раньше устроенное (въ 1872—1874 гг.) сооруженіе, какъ упомянуто выше, соединяетъ два проходныхъ канала длиною по 90 метровъ въ одинъ колодецъ. Подошвы каналовъ доходятъ до плотнаго конгломерата и расположены на глубинѣ отъ 5 до 8 метр., въ среднемъ около 6,6 метр., подъ поверхностью земли. Сборный колодецъ углубленъ въ конгломератъ еще на 3 метр.; устройство его видно на фиг 175. Рвы для сборныхъ каналовъ представляли собой выемки съ одиночнымъ заложеніемъ откосовъ, при которыхъ твердая хрящеватая почва хорошо держалась даже послѣ продолжительныхъ дождей. Эти канавы долгое время (почти 1½ года) оставались открытыми, такъ какъ путемъ непосредственныхъ измѣреній дѣйствительной производительности желательно было убѣдиться въ возможности устройства водоснабженія по предложенному проекту. Послѣ устраненія всякихъ сомнѣній относительно постоянства притока, въ выемкахъ были уложены каналы съ продольнымъ и поперечнымъ сѣченіемъ, показаннымъ на фиг. 175, которые затѣмъ были засыпаны слоемъ мытаго и сортированнаго рѣчного хряща толщиной 0,3 метр. выше замка; на этотъ слой хряща (съ величиной зеренъ около 3,5 милим.) былъ насыпанъ слой болѣе тонкаго хряща высотою 1 метръ съ откосами и, наконецъ, слой чистаго песку, доходящій до глубины 0,5 метр. ниже поверхности земли. Проходные и сборные каналы проницаемы не только въ боковыхъ стѣнкахъ, но также и въ подошвѣ, для того, чтобы при пониженіи уровня воды въ колодцѣ улавливать и подымающуюся снизу воду, насколько она сама не вытекаетъ въ колодецъ. Новыя сборныя сооруженія, работающія съ Августа мѣсяца 1891 года, устроены на тѣхъ же принципахъ и имѣютъ ту же профиль канала. Количество воды, доставляемой всѣмъ сооруженіемъ, составляетъ въ круглыхъ числахъ 200 литровъ въ секунду, колеблясь, конечно, въ зависимости отъ инфильтраціи въ почву. Въ этомъ случаѣ сборные каналы представляли собой единственное правильное рѣшеніе задачи, такъ какъ во всѣхъ выемкахъ вода изливалась весьманеправильно, только въ видѣ отдѣльныхъ жилъ, такъ что сборъ ея посредствомъ ряда колодцевъ былъ бы довольно затруднителенъ. Кромѣ того, препятствіемъ къ устройству колодцевъ служила также незначительная глубина залеганія непроницаемаго слоя ниже поверхности земли и желаніе города Фрейбурга въ видѣ опыта получать воду видимымъ потокомъ съ естественнымъ паденіемъ.



Фиг. 175. Сборные колодцы и сборные каналы водоснабженія гор. Фрейбурга.

Водоснабженіе города Карлсруэ тоже устроено со сборными каналами для сбора воды. Дренируемый имъ грунтовый потокъ имѣетъ большую мощность, и своеобразное его положеніе благопріятствуетъ заимствованію изъ него воды. Сосѣдняя съ городомъ Карлсруэ горная область состоитъ изъ раковистыхъ известняковъ и пестрыхъ песчаниковъ (третичной формаціи); порода чрезвычайно водопроницаема (трещиновата), и слои имѣютъ паденіе по направленію долины рѣки Рейна, такъ что при Эттлингенѣ обнаруживается пестрый песчаникъ, а

при Дурлахѣ — раковистый известнякъ. У подошвы горы расположены весьма мощныя залеганія горныхъ обломковъ, которыя поглощаютъ просачивающіяся въ упомянутыя формаціи воды и направляютъ ихъ къ Рейну приблизительно по направленію отъ Этглингена къ Неуредту съ среднимъ паденіемъ уровня въ 1 : 800. Къ западу отъ Рюпура на нѣкоторой глубинѣ, у Дурляха расположено древнее рѣчное русло, заполненное на значительной ширинѣ глинистыми осадками, образующими естественный подпоръ притекающихъ съ горы водъ, вслѣдствіе чего весь бассейнъ обломковъ, расположенный между горой и этимъ старымъ рѣчнымъ русломъ, образуетъ собой естественный грунтовый резервуаръ весьма значительной емкости. Водоносный слой на всемъ своемъ протяженіи представляетъ собой чистый, довольно крупный рѣчной хрящъ, достигающій до значительной глубины.

Въ этотъ грунтовый резервуаръ на 450 метрахъ къ юго-востоку отъ Аугартена уложенъ каменный сборный каналъ съ прямоугольной профилью шириною 90 сантиметровъ и высотою 158 сантиметровъ; каменная кладка канала произведена съ открытыми швами. При длинѣ канала 194 метра и пониженіи уровня въ 1,5 метра, въ самое сухое время количество воды составляетъ уже около 70 литровъ въ секунду.

Каналъ своей подошвой расположенъ на 4,15 метр. подъ землей и на 1,63 метр. подъ наиболѣе низкимъ уровнемъ грунтовыхъ водъ, но не лежитъ на самомъ непроницаемомъ слоѣ, который здѣсь находится на неизвѣстной до сихъ поръ, вѣроятно весьма большой, глубинѣ подъ уровнемъ земли. Ввиду этого, для повышенія производительности, водосборныя сооруженія впослѣдствіи были дополнены двумя добавочными колодцами глубиной соотвѣтственно 7 и 10 метровъ подъ водой.

5. Проходныя сборныя сооруженія. Для возможности осмотра и содержанія въ исправности сборныхъ каналовъ весьма цѣлесообразно устроить ихъ удобо проходимыми. Въ этомъ случаѣ, какъ упомянуто было выше (см. гл. 4), внутренняя профиль должна имѣть вышину по меньшей мѣрѣ 1,6 метр. и ширину 0,7 метр.; лучше устраивать каналы шириною отъ 1 до 1,2 метр. и высотою 2 метр. При водопроницаемой подошвѣ можно рекомендовать устройство, примѣрно изображенное на фиг. 91 (см. гл. 4). Если для отвода собираемой воды служитъ только часть подошвы, то съ правой и лѣвой стороны водостока устраиваются 2 боковыхъ продольныхъ площадки или тротуара для прохода, или же устраивается одинъ широкій тротуаръ съ той стороны галлереи, которая лежитъ противъ входа грунтовой воды. Болѣе цѣлесообразнымъ можно признать то расположеніе, при которомъ собираемыя грунтовыя воды текутъ по особымъ проводамъ, какъ это видно на фиг. 102, изображающей поперечный разрѣзъ штольни или сборной галлереи водоснабженія города Баденъ-Бадена. Ввиду приведенныхъ нами выше описаній подобныхъ сооруженій мы не будемъ здѣсь останавливаться на нихъ, тѣмъ больше, что значительныя уклоненія отъ приведенныхъ нами типовъ встрѣчаются довольно рѣдко.

Относительно количества воды необходимо различать, устроено ли подобное сооруженіе такимъ образомъ, что сперва сдѣлана выемка, въ которой затѣмъ уже устроена галлерея, или же оно устроено углубленіемъ и послѣдовательной за тѣмъ выкладкой штольни. Въ первомъ случаѣ всѣ расположенные въ водоносномъ слоѣ выше подошвы галлереи водопроводные пути, несомнѣнно, пересѣчены галлереей, которою они всѣ и отвлекаются. Послѣдовательно же устроенная штольня, наоборотъ отвлечетъ воду изъ путей, лежащихъ выше верхней точки, только при извѣстныхъ условіяхъ, а именно лишь тогда, когда сопротивленія движенію грунтовой воды по естественнымъ ея путямъ больше тѣхъ, которыя вода встрѣчаетъ при своемъ проходѣ къ штольнѣ по вновь открытымъ или естественнымъ путямъ. Если послѣднихъ путей въ водоносномъ слоѣ вообще нѣтъ, то изъ лежащихъ выше вершины штольни слоевъ вода въ послѣднюю не притекаетъ; если эти пути прохода воды тѣсны, то къ штольнѣ притекаетъ нѣкоторая незначительная только часть воды, между тѣмъ какъ остальная часть продолжаетъ прежнее свое истеченіе. Поэтому во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда въ водоносномъ слоѣ существуютъ непроницаемыя залеганія, расположенныя выше вершины сѣченія штольни, проведеніе штольни должно считаться весьма несовершеннымъ методомъ сбора воды, если имѣютъ въ виду отвлечь все количество проходящей черезъ водоносный слой воды.

Пренебреженіе этимъ соображеніемъ часто влечетъ къ ошибочнымъ результатамъ отъ проведенія штольни, причемъ считаемъ нужнымъ здѣсь прибавить, что не только въ крѣпкихъ породахъ, но также въ обломочныхъ отложеніяхъ и въ сильно трещиноватыхъ, повидимому легко проницаемыхъ, породахъ вода не можетъ быть отвлечена выше проведенной

штольни. Поэтому во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда устройство продольной выемки не связано съ черезмѣрными расходами, ее всегда слѣдуетъ предпочитать штольнѣ.

Слѣдуетъ имѣть въ виду, что и при свободно проходимыхъ сборныхъ сооруженіяхъ (штольняхъ, галлереяхъ) всегда необходимо принимать мѣры для предупрежденія заноса ихъ пескомъ и т. д. путемъ песчаныхъ слоевъ и т. под. Въ отношеніи теоретическихъ основныхъ положеній, касающихся притока и проч., нѣтъ никакой разницы между правилами для всѣхъ горизонтальныхъ сборныхъ сооруженій.

Стоимость проведенія штоленъ и соотвѣтственно устройства глубокихъ выемокъ весьма значительна и возростаетъ съ увеличеніемъ притока воды.

Способъ сбора воды путемъ горизонтальныхъ водосборныхъ сооруженій представляетъ собой самый распространенный способъ; несомнѣнныя преимущества этого способа состоятъ въ его простотѣ и очевидной успѣшности. Во всѣхъ приведенныхъ нами отдѣльныхъ случаяхъ этотъ способъ оказался вполнѣ удобнымъ и не могъ быть замѣненъ никакимъ другимъ лучшимъ способомъ. Въ случаѣ же глубоко расположеннаго и простирающагося глубоко подъ поверхностью земли водоноснаго слоя съ небольшимъ паденіемъ горизонта воды, гораздо дешевле будетъ устройство водосбора помощью колодцевъ, даже и въ тѣхъ случаяхъ, когда добытая вода подымается не искусственнымъ путемъ, а проводится естественнымъ паденіемъ къ сборному бассейну или прямо къ снабжаемой мѣстности. Неоцѣнимыя преимущества колодцевъ предъ сборными каналами состоятъ въ томъ, что помощью колодцевъ можно получать воду изъ произвольной глубины, между тѣмъ какъ сборные каналы могутъ быть уложены на сравнительно небольшой глубинѣ подъ уровнемъ воды, такъ что не даютъ возможности выбора между различными качествами воды.

Иногда рядъ колодцевъ соединяется помощью уложенныхъ между ними сборныхъ трубъ, которыя въ этомъ случаѣ исполняютъ двоякое назначеніе: обыкновенныхъ соединительныхъ трубъ, уравнивающихъ горизонтъ воды въ отдѣльныхъ колодцахъ при пониженіи уровня въ сборномъ колодцѣ, и дренажа для дренированія грунтоваго потока между каждыми двумя колодцами. Обѣ эти цѣли преслѣдовались Зальбахомъ при устройствѣ водоснабженія города Дрездена. Новый водопроводъ города Аугсбурга подобнымъ же путемъ получаетъ свою воду изъ 3-хъ шахтныхъ колодцевъ діам. по 4 метр., опущенныхъ на глубину 6,5 метр ниже грунтовыхъ водъ на разстояніяхъ другъ отъ друга въ 100 метр. Средній колодецъ, соединенный со всасывающей шахтой насосной станціи помощью трубо-провода длин. 1 километръ, сообщается съ обоими крайними колодцами помощью проницаемаго сборнаго канала шир. 80 сантим., уложеннаго на 5,3 метр. подъ грунтовой водой. Сооруженія подобнаго рода встрѣчаются очень часто[1]). Что же касается цѣлесообразности этихъ сооруженій, то прежде всего слѣдуетъ замѣтить, что онѣ чрезвычайно дороги, такъ какъ опусканіе сборныхъ трубъ ниже уровня грунтовыхъ водъ представляетъ собой весьма медленную и трудную работу. Кромѣ того, дренированіе грунтоваго потока между каждыми двумя колодцами не имѣетъ практическаго значенія. Затѣмъ, пониженіе уровня воды въ крайнихъ колодцахъ зависитъ отъ положенія сборнаго канала; только въ сборномъ колодцѣ это пониженіе можетъ быть произведено на болѣе значительную глубину, нежели соотвѣтствующая подошвѣ сборнаго

[1]) Большей частью для сообщенія между колодцами употребляются дырчатыя гончарныя трубы діам. отъ 200 до 500 милим.

канала. Въ виду того, что помощью всасывающаго трубопровода, уложеннаго выше грунтовой воды и соединяющаго между собой рядъ колодцевъ преслѣдуемая упомянутой комбинаціей цѣль можетъ быть достигнута гораздо дешевле, при чемъ уровень воды въ колодцахъ можетъ быть пониженъ глубже, то и съ экономической точки зрѣнія устройство соединительныхъ каналовъ не оправдывается. Конечно, исключеніе составляютъ упомянутые выше случаи, на которые мы здѣсь и указываемъ.

При устройствѣ водосборныхъ сооруженій, основанныхъ на системѣ дренажа, необходимо быть весьма осторожнымъ: до окончательнаго рѣшенія относительно подобнаго водоснабженія необходимо безусловно убѣдиться въ томъ, доставляютъ-ли данныя внѣшнія условія увѣренность въ постоянствѣ производительности. Если въ дренажѣ сразу обнаруживается потокъ грунтовой воды вслѣдствіе искусственнаго разрыхленія плотной почвы и прониканія въ него инфильтрацій, а также и вслѣдствіе подземнаго ихъ отвода, независимо отъ упомянутыхъ послѣдствій искусственнаго орошенія, то это обстоятельство вообще не даетъ еще намъ повода заключать о постоянствѣ притока. Въ плотныхъ почвахъ, подобныхъ упомянутымъ выше, полезная емкость грунтоваго резервуара для провода воды можетъ быть принята не больше 2% полной его емкости; если же на случай засухи должны оставаться въ распоряженіи болѣе значительныя количества воды, то не только необходимо глубоко дренировать чрезвычайно большія поверхности, но необходимо также имѣть возможность по желанію выпускать воду изъ дренажа. При возможности устройства вообще подобныхъ приспособленій, стоимость ихъ чрезвычайно высока; если же они не устроены, то неизбѣжно являются дурныя послѣдствія, состоящія въ томъ, что наполненный дождями водоносный слой опоражнивается въ весьма короткое время. Совершенно иныя условія создаются въ томъ случаѣ, когда неправильные притоки изъ дренажа, слѣдующіе непосредственно за дождями или вообще за орошеніемъ, проводятся къ естественному грунтовому резервуару, такъ какъ въ подобномъ случаѣ создаются весьма благопріятныя условія водянаго хозяйства. Многіе города Англіи. какъ, напр., Фернгэмъ, Ругби, Зандгетъ, Песли, Айръ и др., повидимому, имѣли возможность удовлетворить этимъ условіямъ; точно также французскіе города Монтобанъ, Лиможъ, Реннъ и Гранвилль снабжаются водой путемъ подобныхъ дренажей; городъ Брюссель снабжается изъ скопленія грунтовой воды въ такъ называемомъ „bois de la Cambre“. Какъ на неудачныя водоснабженія путемъ дренажей укажемъ здѣсь на водоснабженіе городовъ Касселя и Констанца, изъ коихъ къ послѣднему мы еще вернемся въ слѣдующей главѣ. Число болѣе мелкихъ неудачныхъ сооруженій, къ сожалѣнію, весьма велико.

Главнымъ образомъ весьма опасно, если горизонтальными сборными сооруженіями дренируются верхнія протяженія грунтоваго потока, что весьма часто дѣлается съ цѣлью доставленія воды изъ этого потока въ снабжаемую мѣстность подъ естественнымъ напоромъ. Этимъ путемъ получаютъ воду только въ теченіе нѣкотораго времени, а именно до тѣхъ поръ, пока горизонтъ грунтовыхъ водъ не понизится до болѣе глубокаго положенія равновѣсія; затѣмъ сборное сооруженіе превращается исключительно въ сточный желобъ, нѣсколько видоизмѣняемый небольшою почвенной инфильтраціей.

Отношеніе дѣйствія устроенной въ обильномъ водоносномъ слоѣ короткой сборной галлереи къ дѣйствію шахтнаго колодца мы разсмотрѣли выше (см. гл. 6). Точно также въ гл. 6 мы указали, какая часть грунтоваго потока служитъ для питанія канала, устроеннаго выше непроницаемаго слоя. Въ отношеніи послѣдняго считаемъ нужнымъ замѣтить, что если сборный каналъ имѣетъ небольшую высоту, или своей вершиной расположенъ глубоко подъ уровнемъ грунтовой воды, не опираясь на водонепроницаемый слой, то какъ надъ вершиной, такъ и подъ подошвой канала вода протекаетъ мимо него. Это доказывается не только путемъ теоретическихъ разсужденій, но также и многочисленными опытами. Теряемое такимъ образомъ количество воды, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, возростаетъ со свойственной грунтовому потоку скоростью, и обратно. Такимъ образомъ при этихъ обстоятельствахъ высота сборнаго канала далеко не безразлична.

Комбинація дренажа или сборнаго сооруженія съ какимъ-либо другимъ способомъ добыванія воды будетъ разсмотрѣна въ слѣдующей главѣ.

Изъ русскихъ водопроводовъ, питающихся ключевой и подпочвенной водой, укажемъ здѣсь на слѣдующіе:

Городъ Ѳеодосія (Таврич. губ.) снабжается ключевой водой, протекающею изъ ключа Субата, находящагося въ 27 верстахъ отъ города. Этотъ ключъ въ весеннее время даетъ до 70000 вед. воды въ сутки. Пріемникомъ воды служитъ труба діам. 8″ съ привернутымъ къ ней колѣномъ съ сѣткой, обращеннымъ въ сторону жерла ключа. Вода изъ ключа Субатъ по трубамъ діам. 6″ (на длинѣ 11 верстъ) и діам. 5″ (на длинѣ 16 верстъ) самотекомъ поступаетъ въ регулирующій запасный подземный резервуаръ, изъ котораго она затѣмъ расходится, также самотекомъ, по городской сѣти.

Городъ Казань снабжается ключевой водой, а при недостаткѣ ключевой водой—артезіанской. Анализъ той и другой воды слѣдующій:

	плотн. ост.	Ca O	Mg O	SO_3
Ключевой воды	0,349	0,125	0,038	0,007
Артезіанской	0,426	0,147	0,048	0,046

Количество воды, даваемой ключами, съ Ноября по Мартъ м-цъ обыкновенно бываетъ на 30—40% меньше средняго годоваго количества, и въ это именно время недостающее количество воды получается изъ артезіанскихъ колодцевъ. Пріемникомъ воды служитъ колодецъ, куда стекаетъ вода изъ ключей самотекомъ по гончарнымъ трубамъ. Изъ этого колодца вода доставляется въ запасные подземные резервуары, емкостью 40000 и 50000 ведеръ, сложенные изъ кирпича на цементномъ растворѣ и отстоящіе отъ колодца на $7^1/_2$ верстъ.

Городъ Сызрань (Симбирской губ.) снабжается водой изъ ключа, находящагося въ 10 верстахъ отъ города въ дубовомъ лѣсу. Количество воды, доставляемое источникомъ, составляетъ 16000 ведеръ въ часъ. По произведеннымъ анализамъ вода содержитъ въ себѣ органическихъ примѣсей 4,6 части на 100000 частей воды. Ключъ находится въ мѣстности, которая выше самой низкой части города на 60 саж. и выше самой высокой части города на $43^1/_2$ саж. Вода вытекаетъ по откосу, просачиваясь сквозь плитнякъ. Для сбора воды, въ разстояніи отъ откоса на 1 аршинъ выложена каменная стѣнка, и промежутокъ между нею и откосомъ заваленъ крупнымъ камнемъ и перекрытъ каменными плитами. Отъ

стѣнокъ идутъ 2 каменныхъ канала, проводящіе воду въ каменный сборный резервуаръ длин. и шир. по 4 арш., при глубинѣ отъ поверхности воды въ $1^1/_2$ арш. Надъ резервуаромъ построена часовня со сводомъ. Изъ сборнаго резервуара вода выводится въ городъ чугунной трубой діам. 8″, которая при входѣ въ городъ развѣтвляется на отдѣльныя сѣти съ отвѣтвленіями отъ нихъ.

Городъ Ростовъ на Дону снабжается частью ключевой и частью фильтрованною рѣчною водой изъ р. Дона. Водопроводъ построенъ для доставки въ городъ 100000 ведеръ ключевой воды и 75000 вед. рѣчной воды въ сутки. Рѣчная вода фильтруется черезъ песчаный вертикальный фильтръ со слоемъ песка въ 0,6 метр. Очищается фильтръ одинъ разъ въ годъ, при чемъ песокъ промывается.

Городъ Витебскъ снабжается грунтовой водой, добываемой изъ почвы посредствомъ сборныхъ фильтровъ, установленныхъ отъ поверхности русла рѣки на глубинѣ 16—18 фут. Вода получается изъ разной глубины фильтровъ соотвѣтственно уровню воды въ рѣкѣ: чѣмъ ниже уровень воды въ рѣкѣ, тѣмъ болѣе воды даютъ фильтры. При высокой водѣ въ рѣкѣ дѣйствіе 8 и-футовыхъ фильтровъ прекращается. Фильтры состоятъ изъ металлическихъ и цементныхъ трубъ съ отверстіями и предохранительными сѣтками, окруженныхъ слоями разной величины камня и крупнаго песку. Количество воды, даваемое фильтрами, зависитъ отъ уровня воды въ рѣкѣ. При самомъ низкомъ уровнѣ въ рѣкѣ фильтры глуб. 8 фут. діам. 12″ даютъ по 12000 вед. воды въ сутки; фильтры глуб. 16 фут. діам. 4″ даютъ 20000 вед., фильтры въ 35 фут. глубины даютъ 40000 вед. Очистка фильтровъ посредствомъ выкачиванія воды изъ вертикально стоящихъ трубъ производится весной и осенью, при чемъ весенняя очистка указываетъ на большое загрязненіе. Получаемая такимъ образомъ вода не имѣетъ органическихъ примѣсей и почти свободна отъ микробовъ (1 Сентября 1896 г. 7 шт. на 1 куб. сант.). Сборные бассейны сдѣланы изъ бетона и служатъ для осажденія мелкаго песка.

Городъ Калуга снабжается ключевой водой, получаемою въ самомъ городѣ на берегу р. Оки. По произведенному анализу доставляемая въ водопроводную сѣть вода содержитъ въ 1 литрѣ:

Сухого остатка при выпариваніи	0,4673	грамм.
„ „ „ прокаливаніи . . .	0,4606	„
Извести	0,1590	„
Магнезіи	0,01261	„
Окиси натра	0,1020	„
Сѣрной кислоты	0,03114	„
Соляной „	0,0440	„
Угольной „	0,0904	„
Кремневой „	0,0111	„
Фосфорной „	0,00004	„
Глинозема	0,001262	„
Окиси желѣза	0,000048	„
Солей калія, аммонія и сѣрной кислоты .	нѣтъ.	

Изъ растворенныхъ въ водѣ газовъ имѣется углекислота отъ 15 до 20 грамм. въ 1 литрѣ. Пріемникомъ воды служитъ водосборная галлерея, заложенная на глуб. 4 саж. въ известковомъ камнѣ; длина галлереи 62′ 5″, шир. 5′ и высота 7′.

Стѣнки галлереи облицованы кирпичемъ на цементномъ растворѣ, при чемъ толщина облицовки измѣняется отъ 1/2 кирпича до 3-хъ, 4-хъ кирпичей; галлерея покрыта сводомъ толщиной въ ключѣ 2 кирпича; дно же галлереи оставлено въ естественномъ видѣ. Уровень воды въ галлереѣ довольно постояненъ, и глубина воды въ ней равна 4 фут. По дну галлереи проложено 2 ряда всасывающихъ трубъ діам. 8″, одна для ключевой воды, а другая, проходящая въ р. Оку, можетъ служить для подачи Окской воды въ случаѣ какого-либо поврежденія въ первой трубѣ. Для огражденія пріемника отъ затопленія Окской водой во время половодья, пріемникъ отдѣленъ отъ рѣки земляной дамбой.

Г. Кишиневъ (Бесарабской губ.) снабжается ключевою водой, доставляемой изъ источника, называемаго „Городскимъ Фонтаномъ“ и находящагося въ низменной части города на берегу рѣки Быка. Сборное сооруженіе состоитъ изъ главной крытой камеры и двухъ галлерей, длиной 8 и 30 саж.; вода поступаетъ въ галлереи изъ отверстій и щелей известняка. Для запаса воды вблизи Фонтана устроенъ сборный колодецъ длин. 9,45 саж., ширин. 1,30 саж. и глубиной (отъ уровня воды въ Фонтанѣ) 1 саж., покрытый кирпичнымъ сводомъ и засыпанный землей на 0,55 саж. Изъ сборнаго колодца вода поступаетъ къ машинамъ по всасывающей трубѣ діам. 12″.

Городъ Самара снабжается подпочвенной водой, пріемникомъ которой служатъ устроенные на берегу р. Волги два колодца глуб. 4 1/2 саж., состоящіе каждый изъ 9 чугунныхъ сплошныхъ цилиндровъ діам. въ 5 фут. Вода поступаетъ въ колодцы черезъ дно и боковыя щели нижняго цилиндра. Уровень воды въ колодцахъ въ теченіе года почти постояненъ, за исключеніемъ весенняго половодья, когда Волжская вода покрываетъ крышки водосборныхъ колодцевъ слоемъ до 4—5 саж. Пониженіе жесткости воды въ это время указываетъ на просачиваніе въ колодцы рѣчной воды. По первоначальному проекту предположено было снабжать городъ рѣчной водой изъ Волги, для очищенія которой имѣлось въ виду построить фильтръ. Для полученія рѣчной воды въ устроенномъ въ рѣкѣ пріемникѣ проложена 10—дюймовая всасывающая труба. Но ввиду возможности пользоваться также и подпочвенною водой предположено было собирать ее 6-ью колодцами. По вырытіи первыхъ двухъ колодцевъ оказалось, что они вполнѣ достаточны для всего водоснабженія, а потому больше колодцевъ не дѣлали Вода изъ колодцевъ накачивается въ городскую сѣть.

Городъ Харьковъ снабжается подпочвенной водой, анализъ которой показалъ слѣдующее содержаніе въ ней примѣсей, выраженное въ миллиграммахъ на 1 литръ воды:

Плотнаго остатка	486	миллигр.
$K_2O + N_2O$	114	„
CaO	88	„
F_2O_3	0	„
SiO_2	49	„
SO_2	76	„
N_2O_5	0	„
N_2O_3	0	„
CO_2	300	„
NH_3	0	„
Cl	10	„

Вода изъ почвы (источниковъ) поступаетъ самотекомъ въ цементированную сборную цистерну, изъ которой она высасывается машинами. Наивысшій горизонтъ воды въ источникахъ бываетъ въ Апрѣлѣ и Маѣ мѣсяцахъ. Часть воды фильтруется черезъ песчаные фильтры съ фильтрующей поверхностью въ 100 кв. саж. и высотой фильтрующаго слоя въ $^3/_4$ аршина. Очистка фильтровъ производится не рѣже двухъ разъ въ годъ. Осадочныхъ бассейновъ нѣтъ.

Городъ Воронежъ снабжается подпочвенной фильтрованной водой, добываемой съ глубины 9 саж. По произведенному проф. Виноградовымъ анализу въ 100 литрахъ воды оказалось прокаленной окиси желѣза 0,092 грамма, слѣд. до окисленія углекислой закиси желѣза было 0,1334 грамм. Послѣ фильтрованія воды и отдѣленія окиси желѣза, въ 100 литрахъ воды оказалось граммовъ:

Твердыхъ составныхъ частей	12,00
Тоже послѣ прокаливанія	9,40
Летучихъ органич. веществъ (убыль)	2,60
Извести CaO	3,36
Магнезіи MgO	0,65
Натра Na_2O	0,65
Кали Ka_2O	0,22
Глинозема и окиси желѣза	слѣды
Кремневой кислоты	0,70
Сѣрной кислоты	0,447
Хлора	0,05
Азотной кислоты	0,027
Амміака NH_3	0,030
Углекислоты, соединенной съ основаніями	3,115
Тоже свободной и полусвязанной	4,36
Кислорода на окисленіе орган. вещ.	0,032

Какъ видно изъ анализа, вода получается желѣзистая. При устройствѣ водопровода въ 1891 г. желѣзистая вода была лишь на глубинѣ 13 саж., но черезъ годъ по открытіи водопровода она стала получаться таковой и съ глубины 9 саж. Пріемниками воды служатъ 13 Бруклинскихъ колодцевъ съ фильтрами діам. 4″ и длин. 2 саж.: вслѣдствіе осадка окиси желѣза на поверхностяхъ фильтровъ, ихъ приходится промывать каждые два мѣсяца обратнымъ движеніемъ воды, т. е. путемъ накачиванія воды въ скважины. Ежегодно фильтры вынимаются, очищаются и опускаются вновь на мѣста. Количество подпочвенной воды настолько обильно, что при постоянномъ откачиваніи ея въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ пониженія уровня воды не замѣчается. Передъ фильтраціей производится аэрація воды, для чего надъ поверхностью фильтровъ устроена градирня, въ которой вода каплями падаетъ по 4-мъ ярусамъ стелажей, всего съ высоты 1,3 саж.; площадь каждаго яруса стелажей градирни равна площади фильтровъ. Фильтры обыкновенные песчаные съ общей поверхностью въ 48 кв. саж. состоятъ изъ двухъ отдѣленій. Толщина фильтрующаго слоя равна 3′, изъ коихъ 2′ служатъ только основаніемъ собственно фильтрующихъ слоевъ, состоящихъ изъ 10″ песка крупностью въ 3 мм. и изъ 2″ песка крупностью въ 1,5 мм. Производительность фильтровъ равна 300000 ведр. въ сутки. Фильтры очищаются черезъ 2 мѣсяца; очистка ихъ производится снятіемъ лопатами слоя окиси желѣза вмѣстѣ съ частью песка; затѣмъ подбавляется свѣжій песокъ, и фильтръ промы-

вается напусканіемъ чистой воды и спускомъ ея. Профильтрованная вода собирается въ каменномъ сборномъ бассейнѣ емкостію въ 50000 ведеръ. Дѣйствіе фильтра вполнѣ удовлетворительно, хотя размѣры его недостаточны для максимальнаго разбора воды. Аэрація же оказывается недостаточной для совершеннаго окисленія закиси желѣза. Съ водосборной станціи помощью насоса вода по водоводу діам. 10″ и длин. 700 саж. доставляется на водонапорную станцію, а оттуда опять помощью насоса доставляется по водоводу діам. 10″ и дл. 713 саж. въ городъ въ напорные баки.

9. Комбинаціи различныхъ системъ водосборовъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ предварительное изученіе вопроса о водоснабженіи сразу указываетъ на невозможность полученія соотвѣтствующаго всей потребности количества воды посредствомъ одной какой-либо системы водосбора. Чаще всего поводомъ къ примѣненію комбинаціи различныхъ по принципу системъ водосборовъ служатъ невообразимо быстро возрастающія потребности снабжаемой мѣстности, удовлетвореніе которымъ путемъ расширенія примѣняемаго уже источника водоснабженія почему-либо оказывается невозможнымъ; иногда эта комбинація вызывается пониженіемъ производительности существующаго источника водоснабженія или измѣненіемъ качествъ доставляемой имъ воды. Считаемъ здѣсь нелишнимъ упомянуть о несомнѣнномъ, вызываемомъ различными причинами и почти повсюду замѣчаемомъ, уменьшеніи производительности центральныхъ водоснабженій грунтовой водой въ большихъ городахъ и о замѣчаемомъ ухудшеніи качествъ подобной грунтовой воды вслѣдствіе слишкомъ сильнаго расхода, а также, наконецъ, и о неоднократно отмѣченномъ нами вліяніи измѣненій почвенной культуры, заселенія и проч. на свойства ключей и грунтовыхъ водъ, подобно вредному дѣйствію промышленнаго заселенія мѣстности на качества воды въ рѣкахъ, сборныхъ прудахъ и озерахъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, даже при полной возможности водоснабженія изъ одного источника, задача объ удовлетвореніи потребностей въ водѣ наиболѣе простымъ путемъ съ наименьшими затратами, и преимущественно съ разсчетомъ на будущее развитіе снабжаемой мѣстности, a priori уже весьма удачно можетъ быть разрѣшена примѣненіемъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ системъ водосборовъ. Такъ, напр., общая стоимость водоснабженія будетъ несоразмѣрно велика, если къ сравнительно высоко расположенной части города потребное количество воды будетъ доставлено проводомъ изъ ключей съ ограниченной производительностью подъ естественнымъ напоромъ, между тѣмъ какъ ниже расположенная часть города будетъ снабжена искусственно поднимаемой грунтовой водой. Если высокая или гористая часть города сравнительно невелика по отношенію къ низменной части, то будетъ весьма неэкономично устроить одно общее водоснабженіе отъ насосной станціи и развить въ сѣти низменной части города слишкомъ большой напоръ, вызывающій крупные расходы на дѣйствіе водоснабженія. Въ подобномъ случаѣ комбинація обѣихъ системъ водоснабженія производится такимъ образомъ, что хотя трубопроводы остаются отдѣленными другъ отъ друга, но излишняя въ высокой части города вода сливается въ резервуаръ низменной части, такъ что вся сѣть этой части города можетъ питаться какъ насосной станціей, такъ и ключами.

При водоснабженіи изъ различныхъ источниковъ сѣти трубъ не должны быть непремѣнно отдѣлены другъ отъ друга; нерѣдко требуется проводъ воды изъ различныхъ сборовъ въ одинъ общій резервуаръ передъ началомъ распредѣлительной сѣти. Такъ, напр., недостаточно обильное въ сухое время ключевое водоснабженіе можетъ быть пополнено подкачиваніемъ грунтовой воды, или проводомъ воды изъ сборныхъ прудовъ, озеръ и проч., если идущая отъ насосной станціи, сборнаго пруда, озеръ и проч. труба можетъ быть соединена съ распредѣлительной сѣтью въ произвольномъ мѣстѣ. Выравниваніе колебаній расхода путемъ резервуара въ данномъ случаѣ происходитъ тѣмъ же путемъ, какъ если бы накачанная насосомъ и проведенная подъ естественнымъ напоромъ добавочная вода достигала бы сѣти по обходному пути черезъ резервуаръ.

Наиболѣе простое рѣшеніе задачи въ подобныхъ случаяхъ, само собой разумѣется, будетъ состоять въ постепенномъ параллельно съ возрастающей потребностью, экономически раціональномъ прибавленіи новыхъ сборныхъ сооруженій одинако вагоили одинаковаго же рода съ существующими, путемъ соединенія доставляемыхъ ими количествъ воды подъ естественными или искусственно созданными паденіями [1]). Сюда принадлежитъ соединеніе высокихъ и низкихъ ключей или высокихъ ключей и грунтовыхъ водъ въ обыкновенномъ смыслѣ, соединенномъ съ этими обозначеніями; здѣсь приходится имѣть дѣло съ водами, одинаковыми по своему происхожденію, независимо отъ поступленія ихъ изъ принципіально различныхъ системъ водосборовъ. На полноту водоснабженія подобное расширеніе вліяетъ весьма мало. Если же при подобномъ расширеніи получаются воды различныхъ качествъ, то почти безъ исключенія всегда приходится отказаться отъ одной общей распредѣлительной системы. Впрочемъ, это обстоятельство можетъ быть вызвано чисто внѣшними условіями.

Такъ, напр., въ очень большихъ городахъ, какъ Лондонъ, Парижъ и др., единичное или общее распредѣленіе нежелательно и невыполнимо. Общая цифра потребности здѣсь настолько велика, что было бы весьма опасно скоплять въ одномъ сооруженіи соотвѣтствующее этой потребности количество воды, т. е. производить распредѣленіе воды изъ одного центральнаго мѣста. Небольшимъ вычисленіемъ легко можно составить себѣ ясную картину о гигантскихъ размѣрахъ трубопровода при его началѣ; если же еще принять во вниманіе ежегодный приростъ населенія и послѣдствія этого прироста относительно потребнаго количества воды, а также и то обстоятельство, что на окраинахъ существующихъ городскихъ областей постоянно развиваются новые кварталы и часто влекутъ за собой весьма сильное заселеніе, а иногда и опустѣніе прежнихъ частей города, то получаемъ понятіе о крайней трудности, даже о невозможности правильнаго вычисленія водоснабженія изъ одного центральнаго мѣста. При этомъ совершенно неизбѣжны ошибочныя расположенія. Кромѣ того, послѣдствія поломки трубы при общемъ единичномъ снабженіи бываютъ чрезвычайно чувствительны, и еще тѣмъ болѣе, что при весьма крупныхъ размѣрахъ трубъ время, потребное для исправленія поврежденной трубы, весьма значительно. Уже ввиду однѣхъ этихъ опасностей весьма раціонально будетъ обезпечить по возможности

[1]) Ниже (см. отд. III) мы подробно разсмотримъ техническіе пріемы соединенія между собой сборныхъ системъ, лежащихъ на разныхъ высотахъ; здѣсь мы только укажемъ на то, что результатъ добавленія воды насосомъ будетъ эквивалентенъ тому, который получился бы при замѣнѣ воздушнаго котла насоса резервуаромъ, въ которомъ уровень воды находился бы на высотѣ отъ уровня моря, соотвѣтствующей давленію въ этомъ воздушномъ котлѣ.

безпрерывное водоснабженіе путемъ комбинаціи различныхъ водопроводныхъ сооруженій. Кромѣ того, примѣненіе общаго провода воды вообще нераціонально: съ одной стороны расширеніе города требуетъ соотвѣтственнаго потребности увеличенія сборныхъ сооруженій, которое часто весьма трудно, а иногда даже и невозможно, а съ другой стороны другіе подходящіе и легко доступные запасы воды должны оставаться не использованными, благодаря принципу единичности водоснабженія. Такъ какъ проведеніе количествъ воды, потребныхъ для такихъ колоссальныхъ городовъ, вообще весьма затруднительно и дорого, то пренебреженіе легко доступными и только частью достаточными количествами воды будетъ большой ошибкой. Наконецъ, необходимо принять въ соображеніе, что вслѣдствіе неодинаковой большей частью высоты положенія различныхъ частей города, при единичномъ снабженіи должны быть израсходованы безполезно громадныя суммы на частью излишнее высокое подыманіе воды.

Въ дѣйствительности нѣтъ ни одного очень большого города съ единичнымъ общимъ водоснабженіемъ. Лондонъ съ населеніемъ около 5.660,000 жителей (1890 года) обладаетъ водопроводной сѣтью трубъ протяженіемъ въ 4760 англійскихъ миль (7660 километровъ), по которой въ 1890 году распредѣлено количество воды 290.623,000 куб. метровъ. Эта вода накачивается изъ различныхъ мѣстъ 184 паровыми машинами общей силой въ 21,659 лошадиныхъ силъ въ распредѣлительные резервуары. Приблизительно половина всей распредѣленной воды получается изъ рѣки Темзы; около 38% воды доставляются рѣкою Ли и другими источниками. Остальное количество воды добывается изъ ключей и артезіанскихъ колодцевъ и идетъ преимущественно на водоснабженіе восточной части этого гигантскаго города. Парижъ съ $2^1/_2$ милліонами жителей распредѣляетъ въ день круглымъ счетомъ 500,000 куб. метр. воды (182,5 милліона куб. метр. въ годъ), получаемой изъ пяти проводовъ подъ естественнымъ напоромъ, изъ коихъ упомянемъ здѣсь о наиболѣе извѣстныхъ, а именно: Уркскій каналъ и проводъ ключевой воды изъ Дюи и Ваннъ. Ключевой сборъ Дюи доставляетъ ежедневно отъ 20,000 до 25,000 куб. метр. воды въ резервуаръ Менильмонтанъ; ключевой сборъ Ваннъ доставляетъ ежедневно количество воды въ 110,000 куб. метр., которая проводится въ резервуаръ Монружъ. Кромѣ того находятся въ употребленіи множество артезіанскихъ колодцевъ Двадцать насосовъ съ болѣе чѣмъ 4000 лошадиныхъ силъ доставляютъ воду изъ Сены и Марнъ, помимо этого въ настоящее время устраиваются новые ключевые водопроводы, а нѣкоторые находятся въ періодѣ предварительной подготовки. Берлинъ съ 1.600,000 жителей до послѣдняго времени снабжался водой на половину изъ рѣки Шпре, (помощью насосной станціи у Штралаускихъ воротъ) и на половину изъ Тегельскаго озера (съ искусственнымъ фильтрованіемъ); въ послѣднее время къ водоснабженію примѣнено также Мюггельское озеро. Кромѣ того, въ городѣ находится множество глубокихъ колодцевъ. Вѣна съ населеніемъ въ 1 милліонъ жителей получаетъ воду для питья и хозяйственнаго употребленія изъ такъ называемыхъ высокихъ ключей (Кайзербрунненъ Штиксенштейнскій ключъ), изъ соединеннаго съ проводомъ отъ этихъ ключей водосборнаго сооруженія при Потчахѣ и изъ нынѣ устраиваемаго водопровода глубокихъ ключей, для котораго служитъ грунтовая вода изъ области при Wiener-Neustadt. Въ городѣ, предмѣстьяхъ и т. д. находятся, кромѣ того, еще различныя прежнія и частныя водоснабженія. Какъ на общеизвѣстное водоснабженіе различными отдѣльными другъ отъ друга водопроводами, укажемъ здѣсь на водоснабженіе города Рима, часть котораго существуетъ уже тысячи лѣтъ.

Характеръ и производительность разсмотрѣнныхъ нами выше (гл. 1—8, системъ водоснабженія существенно различаются между собой. Озера, сборные пруды и рѣки имѣютъ въ общемъ то преимущество, что во всякое время могутъ доставлять неограниченныя, между довольно широкими предѣлами, количества воды; если подобные источники воды примѣняются для водоснабженія, то обыкновенно весьма рѣдко или совершенно не приходится прибѣгать къ какимъ-либо дальнѣйшимъ комбинаціямъ (за исключеніемъ очень большихъ городовъ). При подобныхъ обстоятельствахъ весьма легко слѣдовать за постепенно возростающей потребностью данной снабжаемой мѣстности, такъ какъ весь

вопросъ въ этихъ случаяхъ сводится къ увеличенію числа машинъ, фильтровъ и проч., т. е. къ такимъ задачамъ, рѣшеніе которыхъ не вызываетъ никакихъ затрудненій.

При цистернахъ и водоснабженіяхъ ключевой и грунтовой водой условія бываютъ уже менѣе благопріятны. Преимущественно при ключевыхъ водоснабженіяхъ увеличеніе колеблющейся по временамъ производительности ключей большей частью бываетъ весьма затруднительно и во многихъ случаяхъ представляетъ собой болѣе или менѣе ненадежное и сопряженное съ большими затратами предпріятіе, если дѣло идетъ о работахъ по открыванію новыхъ истоковъ. Только въ исключительныхъ случаяхъ можно вполнѣ достигнуть тѣхъ мѣръ, которыя служатъ для скопленія временами излишней воды для періодовъ болѣе сухого времени (ср. гл. 3); обыкновенно же отъ этихъ мѣръ приходится отказываться. Если предварительно выбираютъ производительность ключей такъ, что она оказывается вполнѣ достаточной даже и въ самое сухое время, то въ теченіе большей части года ключи даютъ излишекъ воды, и сборныя сооруженія для достиженія этой цѣли требуютъ крупныхъ затратъ. Само собой разумѣется, что подобныя же условія будутъ имѣть мѣсто и въ томъ случаѣ, когда вода заимствуется изъ грунтоваго потока такимъ способомъ, что истокъ изъ него бываетъ свободный и постоянный; въ подобномъ случаѣ получается простой искусственно открываемый ключъ.

Если же, наоборотъ, вода заимствуется изъ глубоко лежащаго, не свободно истекающаго, грунтоваго потока помощью насосовъ, то упомянутый избытокъ воды исчезаетъ; въ этомъ случаѣ заимствованіе воды бываетъ своевременное и по своему количеству совершенно тождественное съ расходомъ, при чемъ и водяное хозяйство оказывается болѣе раціональнымъ. Неравномѣрности расхода весьма простымъ путемъ выравниваются въ грунтовомъ резервуарѣ; если естественныя почвенныя инфильтраціи въ теченіе года пополняютъ количество воды, заимствованной изъ потока, т. е. если водоснабженіе происходитъ насчетъ процентовъ или прибыли, безъ ущерба капиталу, то большей частью происходятъ незамѣтныя только колебанія въ высотѣ положенія грунтоваго горизонта, которыя вызываются неправильнымъ расходомъ. Такимъ образомъ мы легко видимъ тѣ преимущества, которыми обладаетъ только что описанное примѣненіе грунтовой воды въ сравненіи съ примѣненіемъ ключей: въ послѣднихъ избытокъ и недостатокъ воды поперемѣнно мѣняются далеко не желательнымъ путемъ, между тѣмъ какъ откачиваніе грунтовой воды пропзводится вполнѣ параллельно потребности, при чемъ извлекается польза изъ естественнаго уравниванія запасовъ въ почвенномъ резервуарѣ.

Само собой разумѣется, что заимствованіе грунтовой воды *не должно быть безусловно центральное* въ тѣсномъ смыслѣ этого слова. При мелкозернистомъ водоносномъ слоѣ, даже и въ томъ случаѣ, когда заимствованіе производится обширными всасывающими проводами изъ цѣлаго ряда колодцевъ, или когда расходъ производится изъ значительной ширины грунтоваго потока какимъ-либо другимъ путемъ, изъ одного мѣста весьма рѣдко можно добыть очень большія количества воды. Но ничто не препятствуетъ устроить различныя самостоятельныя сборныя сооруженія для сборовъ грунтовыхъ водъ въ различныхъ, удаленныхъ другъ отъ друга на цѣлыя мили, мѣстахъ расхода и провести даваемую ими воду въ одно общее мѣсто; здѣсь даже возможно центральное искусственное приведеніе въ дѣйствіе всѣхъ подобныхъ водоподъ-

ёмныхъ сооруженій, какъ напр., помощью электрической передачи силы. При примѣненіи этого вспомогательнаго средства, путемъ добыванія грунтовой воды удается извлекать необходимыя даже для очень большихъ городовъ количества воды, безъ излишняго форсированія какого-либо отдѣльнаго сооруженія; поэтому полагаемъ, что подобныя комбинаціи сбора грунтовой воды во многихъ случаяхъ представляютъ собой весьма разумное рѣшеніе вопроса о водоснабженіи на обширныхъ плоскихъ низменностяхъ. Изслѣдованія Тима въ окрестностяхъ Лейпцига, Гасселъта—въ окрестностяхъ Амстердама, а также и устраиваемое въ послѣднее время водоснабженіе грунтовой водой города Копенгагена, къ которому мы еще вернемся въ слѣдующей главѣ, даютъ замѣчательные въ этомъ отношеніи примѣры. Разсмотрѣнное выше Фрейбургское сооруженіе даетъ готовый примѣръ подобной комбинаціи.

Вообще комбинаціей различныхъ системъ водосборовъ вполнѣ возможно организовать водяное хозяйство, вполнѣ соотвѣтствующее потребностямъ снабжаемой мѣстности.

Фиг. 176. Планъ примѣненныхъ для водоснабженія Базеля ключей.

Снабженіе грунтовой водой и ключевое водоснабженіе, напр., могутъ быть комбинированы между собой такимъ образомъ, что первое является вспомогательнымъ при недостаточности послѣдняго То же самое можетъ произойти при дополнительномъ проводѣ озерной воды, воды изъ сборныхъ прудовъ, рѣчной воды, если только эта вода подвергается надлежащей предварительной подготовкѣ, или если она вообще заслуживаетъ довѣрія, какъ вполнѣ здоровая и безвредная питьевая вода [1]).

[1]) Комбинація различныхъ способовъ водоснабженій очень часто производится самымъ нераціональнымъ путемъ администраціей водопровода; главнымъ образомъ при ключевомъ водоснабженіи, въ силу необходимости, лѣтомъ и осенью для пополненія недостаточнаго притока сплошь и рядомъ употребляются открытые водяные потоки. При этомъ недостаточность

Приведемъ здѣсь нѣкоторые примѣры исполненныхъ въ практикѣ водоснабженій посредствомъ комбинаціи различныхъ системъ водосборовъ.

Водоснабженіе Базеля. Городъ Базель имѣетъ (1890 года) 72,500 жителей и главнымъ образомъ снабжается водой ключеваго водопровода изъ Греллингена, раньше принадлежавшаго акціонерному обществу, а въ 1875 году пріобрѣтеннаго городомъ. Проводъ отъ ключей оканчивается въ высокомъ резервуарѣ, расположенномъ сбоку Большого Базеля (къ югу отъ Рейна). Со стороны Малаго Базеля (къ сѣверу отъ Рейна) вблизи рѣки Визе устроена насосная станція (такъ называемая Эрленская насосная станція), колодецъ которой описанъ нами выше (см. гл. 6) и служитъ для дополненія городского водоснабженія и полнаго его замѣненія въ случаѣ недостаточности количества ключевой воды, или въ томъ случаѣ, когда ключевой проводъ изъ Греллингена совершенно исключенъ изъ общей сѣти. Послѣднее обстоятельство иногда происходитъ вслѣдствіе мути въ ключахъ отъ сильныхъ дождей или таянія снѣговъ.

Общій видъ системы сборовъ у Грилингена показанъ на фиг. 176, причемъ необходимо замѣтить, что въ систему сборовъ входятъ также подпорная плотина при Зеевенѣ и Ангенштейнскіе ключи. По отчету управленія Базельскаго водопровода за 1890 годъ всѣ ключи, изъ которыхъ каждый отдѣльный можетъ быть выключенъ изъ сѣти, доставляли въ различные мѣсяцы года наибольшія и наименьшія количества воды, показанныя въ слѣдующей таблицѣ. Муть въ водѣ изъ Пельцмюленскихъ ключей появлялась 52 дня, а изъ Кальтбрунненскихъ ключей 105 дней, причемъ первые ключи выносили громадное количество мелкаго песку.

	Наинизшій уровень.			Наивысшій уровень.		
	Число мѣсяца.	Литровъ въ минуту.	Куб. метр. въ день.	Число мѣсяца.	Литровъ въ минуту.	Куб. метр. въ день.
Январь	10	10611	15280	24	46305	66679
Февраль	28	10125	14580	1	19467	28032
Мартъ	6	7776	11197	15	16362	23561
Апрѣль	7	8127	11703	24	17091	24611
Май	26	8802	12675	29	неизмѣримо	—
Іюнь	11	11772	16952	15	тоже	—
Іюль	31	10017	14424	16	29106	41913
Августъ	4	8343	12014	31	37503	54004
Сентябрь	22	10233	14736	2	52380	75427
Октябрь	14	7398	10653	20	45495	65513
Ноябрь	24	13554	19518	13	23463	33787
Декабрь	3	7020	10109	1	14337	20645

Появленіе мути въ водѣ служитъ главной причиной невозможности водоснабженія одной только ключевой водой; въ рѣдкихъ случаяхъ примѣненіе Эрленской насосной станціи вызывается недостаточностью воды въ ключахъ во время наибольшаго ея расхода. Такъ, изъ 48

воды не даетъ себя чувствовать; но, къ сожалѣнію, въ этомъ случаѣ является вполнѣ основательное опасеніе отъ замутнѣнія воды, отъ распространенія тифозной эпидеміи и т. д. Подобная комбинація вовсе не имѣлась нами въ виду, и къ ней ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ прибѣгать.

рабочихъ дней Эрленской насосной станціи за 1890 годъ только 3 дня приходится на такое время, когда общій притокъ изъ ключей не покрывалъ расхода (въ Августѣ); остальные же 45 дней приходятся на тѣ періоды, въ теченіе которыхъ часть ключей была выключена вслѣдствіе появленія въ нихъ мути отъ дождей или таянія снѣговъ.

Въ общемъ, для удовлетворенія потребности, или для пополненія вмѣсто отведенной мутной или песчаной воды, насосная станція за 1890 годъ доставила въ городъ 114,580 куб. метр. воды, которая по отдѣльнымъ мѣсяцамъ распредѣлялась такъ, какъ показано въ слѣдующей таблицѣ. Расходъ отъ каждаго изъ двухъ колодцевъ обыкновенно составляетъ 50 литровъ въ секунду, и этимъ расходомъ опредѣляется время дѣйствія насосовъ.

	Продолжительность дѣйствія.	Количество доставленной воды.
Январь	5 дней	8770 куб. метр.
Февраль.	—	—
Мартъ	—	—
Апрѣль	3 дня	9572 куб. метр.
Май	5 дней	10595 „ „
Іюнь	6 „	9091 „ „
Іюль	6 „	19947 „ „
Августъ.	17 „	45953 „ „
Сентябрь	—	—
Октябрь.	3 дня	7347 куб. метр.
Ноябрь	3 „	3305 „ „
Декабрь	—	—
Всего за . . .	48 дней	114580 куб. метр.

Такъ какъ ключевымъ и грунтовымъ водоснабженіемъ за 1890 годъ городу доставлено 3735419 куб. метр. воды, то насосная станція доставила приблизительно только 3% всего этого количества.

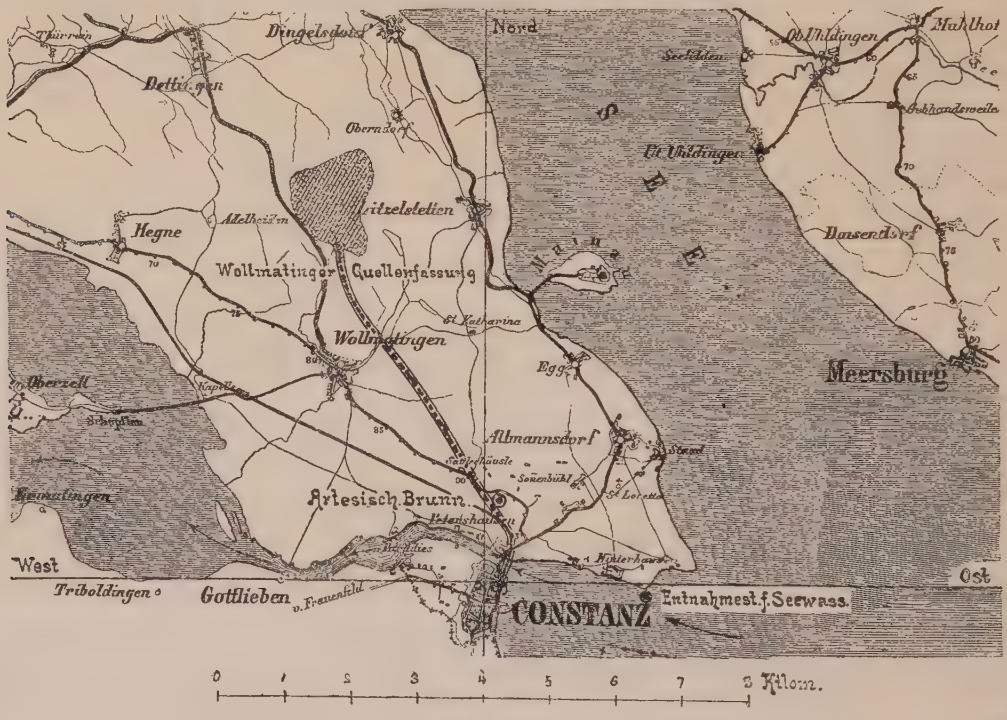
Безъ насосной станціи потребность въ водѣ могла бы быть удовлетворена введеніемъ въ сѣть еще значительнаго числа высокихъ ключей, сопряженнымъ съ черезмѣрно громадными расходами. Городъ Базель, часто испытывавшій недостатокъ въ водѣ до устройства Эрленской насосной станціи, въ настоящее время вполнѣ удовлетворенъ превосходнымъ водоснабженіемъ. Здѣсь считаемъ нелишнимъ еще замѣтить, что доставляемая насосами вода со стороны Малаго Базеля непосредственно поступаетъ въ сѣть, и что появляющаяся временами муть въ водѣ имѣетъ своей причиной трещиноватость породы (норы); помимо же этого, какъ грунтовая, такъ и ключевая вода изъ Греллингена, пока послѣдняя притекаетъ чистой [1]), отличается безукоризненными во всѣхъ отношеніяхъ качествами.

Водоснабженіе Гейдельберга. Въ подобныхъ же условіяхъ, какъ Базель, находится извѣстный городъ Гейдельбергъ. Городъ насчитываетъ нѣсколько больше 30,000 жителей (1890 года) и съ 1873 года имѣетъ ключевое водоснабженіе. Выступающая изъ пестраго песчаника вода собирается въ двухъ мѣстахъ: въ „Вольфсбрунненѣ“ и въ „Ромбахѣ“. Произ-

[1]) Со времени устройства насосной станціи по сѣти распредѣляется только совершенно чистая вода.

водительность Вольфсбрунненскаго ключа чрезвычайно перемѣнчива: въ сентябрѣ мѣсяцѣ 1882 года производительность (наибольшая) его составляла 4400 куб. метр. за 24 часа, а въ ноябрѣ 1887 года она понизилась до 620 куб. метр. (наименьшая производительность). Ромбахскіе ключи были обдѣланы въ 1876 году и въ Декабрѣ мѣсяцѣ 1887 года давали только (минимумъ) 32 куб. метр., а въ Іюнѣ 1886 года производительность (наибольшая) возросла до 356 куб. метр. за 24 часа. Отсюда видно, что достаточное снабженіе города водой возможно только при наивысшихъ уровняхъ воды; попытки отысканія вблизи города еще не примѣненныхъ ключей для пополненія являющагося временами недостатка въ водѣ не привели ни къ какимъ результатамъ.

Послѣ того, какъ городъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ испытывалъ крайній недостатокъ въ водѣ, въ подошвѣ долины Некара выше (къ востоку) города на разстояніи около 440 метровъ отъ базарной площади при Шлирбахѣ, въ залегающемъ подъ долиной Некара пестромъ песчаникѣ—даже, какъ говорятъ, противъ совѣта геологовъ, —была заложена буровая скважина глубиною 48 метровъ и діаметромъ 35 сантиметровъ, которая даетъ приблизительно 1900 куб. метр. воды, направляемой по собой сѣти къ высокимъ резервуарамъ, расположеннымъ за насосной станціей (высота поднятія воды 50 метровъ). Для увеличенія количества воды предприняты были затѣмъ дальнѣйшія буренія, увѣнчавшіяся полнымъ успѣхомъ. Начиная съ этого времени, періодически повторяющійся недостатокъ воды устранили сравнительно весьма недорогимъ способомъ.



Фиг. 177. Общій планъ водоснабженія Констанца.

Водоснабженіе Констанца. Для водоснабженія города Констанца въ 1868—1871 году былъ устроенъ водосборъ въ такъ называемомъ Вольматингскомъ болотѣ, на полуостровѣ Боданскомъ. Использованная для этой цѣли область показана на фиг. 177 крестообразно заштрихованной. Техническій руководитель предпріятія обнадежилъ городъ въ томъ, что помощью обширной сѣти сборныхъ трубъ (дренажа) будетъ получено количество воды въ 27 литровъ въ секунду на высотѣ приблизительно 460 метр. надъ уровнемъ моря, т. е. въ круглыхъ числахъ на 60 метр. выше уровня воды въ Боденскомъ озерѣ. Порода, изъ которой добывается вода, представляетъ собой ледниковые обломки, расположенные надъ третичной породой (Молассскимъ песчаникомъ) весьма мощнымъ слоемъ. Для сбора воды въ расположенной близъ топографическаго водораздѣла между нижнимъ и Иберлингскимъ озеромъ мульдѣ

(Вольматингскомъ болотѣ) въ ледниковыхъ обломкахъ было уложено больше 3 километровъ сборныхъ трубъ.

Эти трубы были изготовлены изъ обожженной глины и имѣли внутри діаметръ между 90 и 180 милиметрами; онѣ были уложены на подкладочныхъ доскахъ частями по 3 трубы одна надъ другой съ открытыми стыками. Ожидавшееся количество воды 27 литровъ въ секунду оказалось никогда не существовавшимъ тамъ; при открытіи сооруженія (въ 1873 году) констатировали количество воды около 14 литровъ въ секунду, которое уже къ концу Сентября 1874 г. уменьшилось до 4 литровъ въ секунду. Когда автору былъ сдѣланъ запросъ о новыхъ предположеніяхъ по водоснабженію города Констанца, осенью 1886 года, общая производительность водосбора составляла только 0,5 литровъ въ секунду, при чемъ вода, вслѣдствіе болотныхъ своихъ свойствъ, не могла быть употреблена для водоснабженія города.

Здѣсь мы видимъ вполнѣ неудачный примѣръ попытки добыванія постояннаго значительнаго количества воды путемъ дренированія верхней части грунтоваго горизонта.

Для пополненія недостатка воды въ городѣ, тѣмъ временемъ въ 1878 году были заложены описанные выше (см. глава 7) артезіанскіе колодцы; количество воды, постоянно доставлявшееся этими колодцами, приведено нами выше при описаніи этихъ колодцевъ. Предварительное опредѣленіе этого количества воды изъ колодцевъ въ 100 литровъ въ секунду оказалось ошибочнымъ, и предположеніе о водоснабженіи города изъ одного мѣста и тутъ потерпѣло неудачу. Средняя производительность могла быть принята только въ 9 до 10 литровъ въ секунду.

Расположеніе города съ 16,000 жителями непосредственно на Швейцарской границѣ, по административнымъ соображеніямъ, не допускало водоснабженія его изъ Швейцарскихъ горъ подъ естественнымъ напоромъ. Для устройства центральнаго водоснабженія наиболѣе раціональнымъ способомъ оказалось добываніе воды изъ Боденскаго озера въ показанномъ на фиг. 177 мѣстѣ. Къ этому способу и оказалось необходимымъ прибѣгнуть впослѣдствіи; но раньше оказалось возможнымъ исправить водоснабженіе путемъ *комбинаціи переустроеннаго Вольматингскаго водосбора съ артезіанскими колодцами.*

Для этой цѣли дренажъ Вольматингскаго водопровода былъ вычищенъ и частью переложенъ, чѣмъ и удалось получить хорошую питьевую воду. Количество воды колебалось въ 1891 году между 3,5 и 10 литрами въ секунду; но затѣмъ оно было еще больше, такъ какъ число притоковъ въ продолженіе 1891 года еще увеличилось.

Артезіанскіе колодцы происходятъ изъ грунтоваго резервуара, имѣющаго весьма незначительный естественный истокъ; вслѣдствіе этого въ немъ могли быть скоплены запасы воды подобно тому, какъ въ обыкновенномъ водяномъ резервуарѣ. Это въ высшей степени благопріятное обстоятельство дало возможность *вполнѣ использовать* неправильно притекающія количества воды изъ Вольматингена (притокъ которыхъ происходитъ параллельно количеству выпадающихъ дождей) и произвольно пополнять недостатокъ воды посредствомъ насосной станціи при артезіанскихъ колодцахъ. Это пополненіе производится такимъ образомъ, что между воздушнымъ котломъ насоса устроено непосредственное сообщеніе по кратчайшему пути съ Вольматингскимъ водопроводомъ безъ промежуточнаго резервуара. Въ теченіе лѣтнихъ мѣсяцевъ изъ артезіанскихъ колодцевъ долгое время можетъ быть извлекаемо до 30 литровъ воды въ секунду, причемъ, естественно, горизонтъ грунтовыхъ водъ понижается на весьма значительную глубину подъ почвой; въ осеннее, зимнее и весеннее время работа этихъ колодцевъ можетъ быть слабѣе, такъ какъ въ это время потребность въ водѣ бываетъ меньше, и какъ разъ въ это же время Вольматингенскій водопроводъ даетъ много воды. За это время горизонтъ воды въ артезіанскихъ колодцахъ повышается частью или вполнѣ до прежняго его уровня.

Безъ помощи этой комбинаціи городъ Констанцъ долженъ былъ бы затратить большія средства на новое водоснабженіе, между тѣмъ какъ при ея помощи городъ обезпеченъ водой, вѣроятно, до будущаго столѣтія.

Водоснабженіе города Сентъ-Этьенъ. Выше (см. глава 2) мы упомянули, что описанный тамъ резервуаръ „Gouffre d'Enfer“ имѣетъ цѣлью пополнять ключевое водоснабженіе города Сентъ-Этьена въ сухое время. Рѣка Фюрансъ, въ верхнихъ областяхъ которой, защищенныхъ густыми еловыми лѣсами, расположены обдѣланные городомъ ключи, во многихъ мѣстахъ служитъ для промышленныхъ и двигательныхъ цѣлей. Такъ какъ количество воды этой рѣки въ сухое время понижается до 100 литровъ въ секунду, и до устройства сборнаго пруда въ такіе періоды времени все это количество должно было доставляться ис-

ключительно ключами, то для промышленныхъ цѣлей необходимо было создать извѣстную компенсацію отвлекаемой отъ ручья ключевой воды. Эта компенсація была достигнута устройствомъ резервуаровъ (резервуары: Gouffre d'Enfer и Pas du Riot). Но, съ другой стороны, резервуаръ Gouffre d'Enfer служитъ также и для пополненія городскаго ключевого водоснабженія, для котораго онъ оказывается весьма удобнымъ, такъ какъ тѣмъ періодамъ времени, когда требуется прибавка воды, постоянно предшествуютъ продолжительныя засухи, причемъ содержимое резервуара бываетъ совершенно чисто и прозрачно. Такъ какъ, кромѣ того, вода извлекается изъ резервуара изъ значительной глубины, то она обладаетъ необходимой для водоснабженія свѣжестью вкуса.

Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ для питанія городскихъ водоснабженій допускается непосредственное пользованіе водой изъ резервуаровъ безъ предварительнаго ея фильтрованія

Сообразивъ разсмотрѣнныя нами и поясненныя примѣрами основанія для комбинаціи различныхъ системъ водосборовъ, мы видимъ, что всѣ случаи, при которыхъ бываютъ умѣстны подобныя комбинаціи, могутъ быть раздѣлены на три главныхъ категоріи:

1. Снабжаемая мѣстность настолько велика, или расположена на такихъ различныхъ высотахъ надъ уровнемъ моря, что даже при возможности снабженія одной сѣтью раздѣленіе снабжаемой области на отдѣльные пояса вызывается технической необходимостью, въ видахъ правильнаго дѣйствія водоснабженія.

Въ подобныхъ случаяхъ, гдѣ только возможно, слѣдуетъ выбрать раздѣленіе снабжаемой мѣстности, или соотвѣтственно мѣста добыванія воды, такимъ образомъ, чтобы притекающая подъ естественнымъ напоромъ вода примѣнялась къ той части мѣстности, которая расположена выше, а нижележащая мѣстность будетъ снабжаться водой, искусственно поднимаемой путемъ насосовъ и проч.

2. Снабжаемая мѣстность въ теченіе части года можетъ быть снабжаема водой изъ одного источника; въ теченіе же засухъ, или въ періоды очень большого расхода, требуется добавочный притокъ воды.

Принимая въ соображеніе разсмотрѣнные нами практическіе случаи подобнаго рода, можемъ замѣтить, что здѣсь для опредѣленія дополнительнаго притока лучше всего служатъ соотвѣтственныя діаграммы годоваго расхода воды и производительности существующаго водосбора. Остающіяся открытыми плоскости между обѣими діаграммами даютъ по времени и пространству всѣ исходныя точки для опредѣленія недостаточности притока изъ источника. Необходимо здѣсь замѣтить, что весьма рѣдко оказывается выгоднымъ пополненіе одного ключеваго водоснабженія другимъ ключевымъ же; послѣднее находитъ себѣ мѣсто лишь тогда, когда, соотвѣтственно сказанному въ гл. 3, новое сооруженіе даетъ возможность скоплять воду для произвольныхъ періодовъ времени, или же тогда, когда горные ключи (съ лѣтней высокой водой) могутъ быть соединены съ нормальными ключами (съ лѣтней низкой водой), какъ это часто имѣетъ мѣсто въ высокихъ гористыхъ мѣстностяхъ. Выгоднѣе всего соединить ключевой водосборъ съ насосной станціей, заимствующею воду изъ большого грунтоваго резервуара или грунтоваго потока, легко уравнивающаго всѣ колебанія расхода. Пополненіе водоснабженія искусственно фильтрованной или совершенно чистой водой изъ рѣкъ, сборныхъ прудовъ и озеръ въ техническомъ отношеніи совершенно одинаково съ только что упомянутымъ; но противъ его примѣненія

въ настоящее время говоритъ довольно распространенное мнѣніе [1]), которое признаетъ эти воды негодными для питья во всѣхъ случаяхъ.

3. Водоснабженіе извѣстной мѣстности, вслѣдствіе недостатка соотвѣтствующихъ источниковъ, можетъ происходить такимъ образомъ, что въ водопроводъ поступаетъ вода различныхъ качествъ.

Для этого случая раньше всего необходимо выяснить причину и сущность „различныхъ качествъ," и въ этомъ случаѣ указываемъ на сказанное въ введеніи къ этому отдѣлу, гдѣ мы замѣтили, что хорошо фильтрованная рѣчная и озерная вода, вода изъ сборныхъ прудовъ и проч., одинаково годна для питья, какъ и грунтовая или ключевая вода.

Но ввиду весьма высокой стоимости искусственнаго фильтрованія, или вслѣдствіе невозможности полученія хорошей питьевой воды изъ очень загрязненной рѣчной воды помощью извѣстныхъ до настоящаго времени средствъ, иногда бываютъ вынуждены къ распредѣленію по снабжаемой мѣстности воды двоякаго качества. Такъ напр., если большой городъ расположенъ у озера, дающаго всегда прозрачную воду, или при возможности устройства водосборныхъ прудовъ, тоже дающихъ чистую воду, то распредѣленіе подобной воды въ нефильтрованномъ видѣ не будетъ имѣть никакихъ вредныхъ санитарныхъ послѣдствій въ томъ случаѣ, когда эта вода не употребляется для питья. Въ такихъ случаяхъ, помимо доставленія этой воды низшаго качества, необходимо устроить еще особое водоснабженіе для доставленія чистой питьевой воды. Доставленіе обоего рода воды потребителямъ въ подобныхъ случаяхъ должно быть произведено такъ, чтобы при пользованіи безусловно была бы исключена всякая возможнось замѣны одной воды другой.

При такой комбинаціи наилучшее рѣшеніе вопроса получается устройствомъ двухъ отдѣльныхъ распредѣлительныхъ сѣтей, изъ которыхъ одна доставляетъ только питьевую воду и устраивается тамъ, гдѣ вода употребляется для хозяйственныхъ домашнихъ потребностей; другая же распредѣлительная сѣть даетъ воду исключительно для промывки каналовъ, поливки улицъ, фонтановъ, орошенія и поливки садовъ, питанія котловъ, дѣйствія фабрикъ и проч. Затѣмъ еще необходимо, чтобы въ обыкновенныхъ частныхъ или жилыхъ домахъ, гостиницахъ и проч., была бы проведена только питьевая вода, а не какая-либо другая, такъ какъ только въ такомъ случаѣ исключается всякая возможность замѣны одной воды другою; если проведены воды обоего рода, то, несмотря на ясныя надписи о различныхъ качествахъ воды, часто будутъ происходить замѣны вслѣдствіе невнимательности или небрежности. Въ большихъ промышленныхъ заведеніяхъ, гдѣ рабочія помѣщенія расположены вмѣстѣ съ жилыми помѣщеніями, въ видѣ ислюченія можетъ быть допущено двоякое водоснабженіе, такъ какъ здѣсь существуетъ лучшая дисциплина между рабочими и лучшій надзоръ за примѣненіемъ хозяйственныхъ приспособленій [2]).

При опредѣленныхъ требуемыхъ качествахъ воды потребность въ чистой водѣ опредѣляется общимъ расходомъ для домашняго употребленія и хозяйственныхъ надобностей (см. отд III, гл. 1); этотъ расходъ можетъ быть опредѣленъ совер-

---

[1]) Иногда, согласно различныхъ современныхъ точекъ зрѣнія, также мнѣніе гигіенистовъ.

[2]) Cp. Bechmann. De la distribution dans les villes de deux eaux de qualité différente par des canalisations distinctes.

шенно точно, такъ какъ количество булочниковъ, мясниковъ и проч. почти повсюду находится въ одинаковомъ пропорціональномъ отношеніи къ цифрѣ народонаселенія, и потребность воды на каждаго жителя не очень измѣнчива. Потребность въ водѣ второго качества опредѣляется не такъ точно; но обыкновенно это обстоятельство не влечетъ никакихъ затрудненій, такъ какъ добываніе ея и увеличеніе доставляемаго количества во всѣхъ случаяхъ несравненно легче, нежели добываніе питьевой воды.

Подобное раздѣленіе водоснабженія на двѣ отдѣльныхъ сѣти, проводящія воду различныхъ качествъ, несомнѣнно имѣетъ еще то преимущество, что количество обыкновенно гораздо труднѣе добываемой чистой питьевой воды уменьшено до минимума, и что независимость распредѣленія питьевой воды отъ распредѣленія воды для общественныхъ надобностей обезпечиваетъ равномѣрное неограниченное полученіе воды во всѣхъ этажахъ домовъ, которое при общемъ единичномъ снабженіи часто нарушается открываніемъ гидрантовъ и проч.

Въ Парижѣ отдѣленіе общественнаго водоснабженія отъ домашняго впервые выполнено Бельграномъ [1]). Для промышленныхъ цѣлей, поливки улицъ, дворовъ, садовъ и проч. служитъ вода отъ насосныхъ станцій на Сенѣ и Марнѣ, вода Уркскаго канала и нѣкоторыхъ прежнихъ водопроводовъ; чистая же ключевая вода изъ Дюи и Ваннъ, а также и новый ключевой водопроводъ служитъ исключительно для хозяйственнаго домашняго водоснабженія. Изъ всего расходуемаго въ Парижѣ, количества воды больше половины идетъ для общественныхъ надобностей: фонтановъ, поливки улицъ, промывки каналовъ и проч.; и такъ какъ вода второго качества доставляется еще и для промышленныхъ цѣлей, то слѣдовательно потребность въ чистой питьевой водѣ получается сравнительно весьма небольшая. Въ другихъ городахъ, преимущественно въ Германіи, эти условія бываютъ нѣсколько иныя; здѣсь для фонтановъ и другихъ потребностей роскоши воды требуется немного. Поливка улицъ здѣсь производится совершенно инымъ путемъ: въ Парижѣ проѣзжая часть улицы обмывается въ полномъ смыслѣ слова, между тѣмъ какъ въ нѣмецкихъ городахъ она только поливается и затѣмъ сметается.

Ввиду этихъ особыхъ условій подражаніе примѣру Парижа, естественно, требуетъ весьма зрѣлаго обсужденія. Не слѣдуетъ упускать изъ виду, что укладка по всѣмъ улицамъ города двойныхъ трубопроводовъ и распредѣлительныхъ приспособленій не только требуетъ начальной затраты большого капитала, но вызываетъ также увеличенный расходъ по дѣйствію водоснабженія. Для избѣжанія неправильностей и неисправностей при обращеніи съ задвижками и проч. необходимо увеличить персоналъ наблюдающихъ за этой службой, а также и число рабочихъ въ послѣдней. Вычисляя стоимость начальнаго сооруженія и капитализированную стоимость ухода, мы увидимъ, возможно ли за ту же или нѣсколько высшую цѣну устроить единичное водоснабженіе съ одной только чистой питьевой водой. Если это въ дѣйствительности окажется возможнымъ, то послѣдней системѣ безусловно должно быть отдано предпочтеніе; для небольшихъ городовъ это почти безъ исключенія окажется выгоднымъ.

Въ заключеніе упомянемъ здѣсь еще о другомъ способѣ пополненія количества воды, даваемой существующими водопроводными сооруженіями, а именно о глубокомъ буреніи внутри существующихъ колодцевъ для увеличенія количества воды въ нѣкоторыхъ случаяхъ водоснабженія грунтовой водой (ср. фиг. 160 слѣва). Во многихъ мѣстахъ этой комбинаціей достигнуты желаемые результаты, преимущественно при снабженіи небольшихъ городовъ; для большихъ городовъ подобный способъ имѣетъ второстепенное значеніе.

---

[1]) Belgrand, M. Historique du service des eaux depuis 1854 etc. Paris. 1875.

10. Наиболѣе цѣлесообразныя мѣста водосборовъ при свободномъ выборѣ.

Выше (см. введеніе) мы указали, что качества воды не могутъ быть опредѣлены по одному только внѣшнему характеру мѣста ея добыванія. Это обстоятельство необходимо всегда принимать во вниманіе, если имѣютъ ввиду безъ всякихъ предубѣжденій опредѣлить наиболѣе цѣлесообразное мѣсто сбора воды. Помимо многихъ подробныхъ разъясненій вопроса о качествахъ воды, предлагаемыхъ спеціалистами, отъ времени до времени появляются свѣдѣнія о признакахъ для отличія различныхъ качествъ воды, часто влекущія къ крупнымъ ошибкамъ. Сюда прежде всего относится мнѣніе, что по своимъ качествамъ относительно годности для питья на первомъ мѣстѣ стоитъ ключевая вода, затѣмъ идетъ вода изъ глубокихъ колодцевъ и вообще грунтовая вода изъ глубокихъ слоевъ почвы, наконецъ дождевая, озерная, рѣчная и проч. Далѣе второе мѣсто занимаетъ часто высказываемое мнѣніе, что получаемая изъ достаточныхъ глубинъ (30 метр.) грунтовая вода является безукоризненной во всѣхъ случаяхъ; съ этимъ мнѣніемъ связано дѣлаемое въ послѣднее время нѣкоторыми колодезными техниками различіе между качествами воды перваго и второго грунтоваго горизонта.

Подобныя опредѣленія никогда не могутъ имѣть общаго значенія, такъ какъ обстоятельства складываются весьма различно въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Между сотнями ключей или грунтовыхъ потоковъ едва ли насчитаются два или три, которые находятся при одинаковыхъ внѣшнихъ и внутреннихъ условіяхъ. Въ одномъ мѣстѣ инфильтраціонная область трещиновата на значительной глубинѣ, такъ что мутная вода въ отдѣльныхъ мѣстахъ быстро проникаетъ не только на 30, но и на 50, даже на 100 метр. въ подпочву и можетъ совершенно загрязнить очень глубоко расположенный грунтовый потокъ. Въ другомъ мѣстѣ грунтовый потокъ протекаетъ на 2 метра подъ песчаной почвой; онъ бываетъ и остается чистымъ до тѣхъ поръ, пока расположенная надъ нимъ площадь не чрезмѣрно загрязнена. Въ одномъ мѣстѣ появляется ключъ съ перемѣнной температурой воды и временнымъ ея помутнѣніемъ, между тѣмъ какъ въ другомъ мѣстѣ, при совершенно одинаковыхъ внѣшнихъ условіяхъ, другой ключъ даетъ совершенно прозрачную воду съ весьма мало измѣняющеюся температурой. Послѣдняя по своимъ химическимъ свойствамъ можетъ оказаться совершенно негодной, между тѣмъ какъ первая послѣ надлежащаго ея профильтрованія можетъ давать превосходную питьевую воду. Подобное же явленіе можетъ имѣть мѣсто съ рѣками, озерами, сборными прудами и проч. Вообще нельзя въ практикѣ указать на полную идентичность даже въ двухъ случаяхъ. Но такъ какъ только при совершенно тождественныхъ условіяхъ, получаются тождественныя послѣдствія, то ясно, что различіе воды по чисто внѣшнимъ признакамъ неизбѣжно влечетъ къ ошибочнымъ заключеніямъ.

Послѣ всего выше сказаннаго не можетъ подлежать сомнѣнію, что химическія и бактеріологическія изслѣдованія во всѣхъ безъ исключенія случаяхъ указываютъ намъ на то, допускается ли для опредѣленной цѣли примѣненіе воды изъ даннаго источника или нѣтъ.

Выше мы указали, что для нѣкоторыхъ цѣлей можетъ быть примѣнена вода болѣе низкихъ качествъ. Для этихъ цѣлей обыкновенно примѣняютъ

открытые водоемы (рѣки, озера и пр.), и изъ имѣющихся въ распоряженіи подобныхъ водоемовъ выбираютъ именно тѣ, примѣненіе которыхъ сопряжено съ наименьшими расходами.

Отъ воды, идущей въ употребленіе для хозяйственныхъ и домашнихъ надобностей, мы, наоборотъ, требуемъ, чтобы она до поступленія въ распредѣлительныя сѣти представляла бы собой здоровую питьевую воду, одобренную компетентными въ этомъ дѣлѣ лицами [1]). Кромѣ того, при свободномъ выборѣ мѣста для сбора воды изъ различныхъ источниковъ, рѣшающее значеніе имѣютъ еще годность воды для варки и промышленныхъ примѣненій, а также большая или меньшая жесткость воды, затѣмъ качества источника добыванія воды въ отношеніи свѣжести воды и содержанія въ ней углекислоты и, наконецъ, въ немалой степени, вліяніе привычки и общественнаго мнѣнія о данномъ мѣстѣ добыванія воды.

Послѣднее обстоятельство, поскольку дѣло идетъ о городскомъ водоснабженіи, весьма важно для техника, такъ какъ въ данномъ случаѣ власть принадлежитъ большинству, и приходится принять во вниманіе это требованіе города или отказаться отъ работы. Бываютъ городскія управленія, признающія въ высшей степени вреднымъ для здоровья населенія водоснабженіе иной водой, кромѣ ключевой (въ обыкновенномъ смыслѣ слова); примѣненіе фильтрованной рѣчной воды или изъ сборныхъ прудовъ кажется имъ прямо преступнымъ.

Весьма понятно, что относительно тѣхъ водъ, которыя требуютъ искусственнаго фильтрованія, существуютъ нѣкоторыя сомнѣнія (см. гл. 5), при извѣстныхъ обстоятельствахъ даже весьма справедливыя; но съ другой стороны остается сожалѣть, что до настоящаго времени очень многимъ совершенно неизвѣстна тождественность происхожденія ключевыхъ и грунтовыхъ водъ, и они съ пренебреженіемъ отвергаютъ всякое научное объясненіе этого вопроса. Съ этимъ предубѣжденіемъ часто приходится бороться и совершенно безъуспѣшно; но тѣмъ не менѣе въ соотвѣтствующихъ случаяхъ никогда не слѣдуетъ умалчивать объ этомъ предубѣжденіи, такъ какъ въ случаѣ неудачнаго результата несвоевременное молчаніе техника ставится ему въ вину, которую не всякій можетъ на себя брать. Кромѣ того, съ теченіемъ времени измѣняются взгляды лицъ, руководящихъ такъ называемымъ общественнымъ мнѣніемъ, и въ концѣ концовъ, хотя и поздно, получаются правильныя понятія о предметѣ.

Водоснабженіе Гейдельберга даетъ примѣръ подобнаго измѣненія взглядовъ. Этотъ городъ въ 1869 году предложилъ инженеру Герстнеру въ Карлсруэ заняться составленіемъ проекта новаго водоснабженія и одновременно съ этимъ учредилъ водопроводную коммиссію, которая a priori уже настаивала на водоснабженіи изъ ключей Вольфсбрунненъ и проч. Въ представленномъ Герстнеромъ въ 1870 году заключеніи, послѣ подробнаго разсмотрѣнія всѣхъ предложенныхъ коммиссіей ключевыхъ областей, онъ говоритъ: „приростъ населенія и необыкновенная сухость рано или поздно сдѣлаютъ недостаточными количества воды, скопляемыя на этихъ областяхъ“. Затѣмъ онъ прибавляетъ: „если даже коммиссія желаетъ отдавать предпочтеніе для ближайшаго будущаго ключевому водоснабженію, то уже теперь необходимо принять во вниманіе примѣнимость грунтовой воды для дальнѣйшаго будущаго, чтобы потомъ не заслужить упрека въ недальновидности по отношенію къ своимъ постановленіямъ“. Въ то время не послѣдовали совѣту Герстнера, а поручили другому технику устройство ключеваго водоснабженія. Шедшее въ разрѣзъ съ зрѣло обдуманными предложеніями настойчивое желаніе коммиссіи привело къ весьма непріятнымъ результатамъ, какъ мы

[1]) Проведеніе грязной воды и предоставленіе очистки ея потребителемъ составляетъ весьма опасный пріемъ, не допускаемый при раціональномъ водоснабженіи.

указали выше (см. глава 9), и въ концѣ концовъ, тѣмъ не менѣе, пришлось прибѣгнуть къ дополнительному водоснабженію грунтовой водой. Такимъ образомъ въ Гейдельбергѣ отъ предубѣжденія противъ грунтовыхъ водъ пришлось отказаться.

Подобныхъ примѣровъ можно привести много. Но съ другой стороны при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ общественное мнѣніе можетъ быть совершенно право, отклоняя всякое другое водоснабженіе, кромѣ ключевого; но при этомъ уже не должно быть сдѣлано никакого различія между ключевой и грунтовой водой. Такъ, въ тепломъ климатѣ весьма большое значеніе придается свѣжести воды и содержанію въ ней углекислоты, поэтому дѣйствительно, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, хорошей ключевой и грунтовой водѣ можетъ быть отдано предпочтеніе предъ искусственно фильтрованной рѣчной, озерной водой или водой изъ сборныхъ прудовъ. [1]) Послѣ тщательнаго разсмотрѣнія и опредѣленія тѣхъ жертвъ, какія потребуется принести этому качественному преимуществу воды, возможность устройства обыкновенно довольно дорогого водоснабженія ключевой или грунтовой водой будетъ зависѣть отъ производительности водосборовъ и матеріальныхъ средствъ снабжаемаго города [2]).

Въ мѣстностяхъ съ холоднымъ климатомъ упомянутое условіе относительно свѣжести воды не имѣетъ особаго значенія; здѣсь также примѣненіе воды для питья не имѣетъ большого значенія, такъ какъ по климатическимъ условіямъ въ подобныхъ мѣстностяхъ больше развито употребленіе теплыхъ напитковъ. Такимъ образомъ здѣсь при выборѣ руководствуются другими соображеніями, и рѣшающимъ значеніемъ является стоимость. Мѣсто добыванія воды слѣдуетъ выбрать такъ, чтобы пользованіе имъ давало увѣренность въ непрерывномъ полученіи воды во всякое время и въ достаточномъ ея количествѣ для будущихъ потребностей, причемъ оно по возможности должно требовать наименьшаго годоваго расхода на дѣйствіе и амортизацію строительнаго капитала.

Сообразуясь съ приведенными общими взглядами, въ тѣхъ случаяхъ, когда условія вообще допускаютъ свободный выборъ между различными источниками, слѣдуетъ только изучить отдѣльные источники и возможность полученія воды, а затѣмъ сравнить ихъ между собой. Сперва точно устанавливается требуемое количество воды (см. отд. III, гл. 1), а затѣмъ опредѣляется высота напора, потребнаго для распредѣленія воды. На основаніи этихъ предварительныхъ условій и послѣ окончательнаго рѣшенія вопроса о качествахъ воды остается изслѣдовать, существуютъ ли такіе источники, которые удовлетворяютъ этимъ

---

[1]) Само собой разумѣется, что предпочитаемая въ подобныхъ случаяхъ ключевая или грунтовая вода въ гигіеническомъ отношеніи должна быть одинакова съ водой другихъ источниковъ и не должна терять своей свѣжести подъ вліяніемъ длинныхъ трубопроводовъ и пр. (ср. отд. III). Кромѣ того, первымъ условіемъ правильнаго водоснабженія должно быть достаточное количество воды.

[2]) Если въ подобныхъ случаяхъ вода не распредѣляется посредствомъ постоянно дѣйствующихъ водопроводовъ, а, какъ обыкновенно, проводится въ домашніе водопроводы, то она въ послѣднихъ нагрѣвается, и свѣжесть получаемой воды можетъ быть достигнута лишь тѣмъ, что потребитель при полученіи воды настолько опорожниваетъ домашній трубопроводъ, пока въ него поступитъ болѣе холодная вода изъ уличной сѣти. Этотъ пріемъ (см. отд. III, гл. 1) во многихъ случаяхъ вызываетъ большую потерю воды, которая обыкновенно совпадаетъ съ наименьшимъ притокомъ изъ ключей, такъ что для покрытія расхода требуется значительная сама по себѣ производительность ключа. Въ подобномъ случаѣ наилучшее рѣшеніе вопроса даютъ комбинаціи различныхъ системъ (ср. гл. 9).

требованіямъ. Если такіе источники не находятся, то необходимо произвести рядъ изслѣдованій для сбора всего количества потребной воды или части ея; если затѣмъ по результатамъ этихъ предварительныхъ изысканій приходится произвести выборъ между механическимъ поднятіемъ воды и проводомъ ея подъ естественнымъ напоромъ, то этотъ выборъ слѣдуетъ сообразовать съ условіями каждаго даннаго случая, причемъ не всегда принимается въ соображеніе одна только наименьшая начальная стоимость, а при небольшихъ сооруженіяхъ принимается во вниманіе также и мѣстныя условія и желанія. Разсмотримъ здѣсь нѣсколько подробнѣе всѣ эти основныя точки зрѣнія, насколько онѣ допускаютъ общее ихъ разсмотрѣніе.

1. Требуемыя количества воды. Подробное разсмотрѣніе этого вопроса будетъ приведено нами въ слѣдующемъ отдѣлѣ III, глава 1; здѣсь замѣтимъ только, что потребность въ водѣ для домашняго употребленія зависитъ отъ числа жителей снабжаемой мѣстности, а потребность для особыхъ и промышленныхъ цѣлей зависитъ отъ рода и характера послѣднихъ. Весьма замѣтное вліяніе въ этомъ отношеніи имѣетъ способъ отпуска воды: если потребитель оплачиваетъ какъ разъ только то количество, которое онъ потребляетъ, то потребленіе воды значительно меньше, нежели въ томъ случаѣ, когда вода отпускается произвольно, причемъ потребитель уплачиваетъ извѣстную общую сумму (ежегодно) и можетъ употреблять воды столько, сколько ему желательно. Во всякомъ случаѣ послѣдній способъ часто влечетъ за собой злоупотребленія со стороны потребителей.

Въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ вообще имѣется мало воды, умѣютъ довольствоваться сравнительно небольшимъ ея количествомъ; тамъ же, гдѣ вода находится въ изобиліи, нѣтъ основанія къ особенной бережливости. Такимъ образомъ безъ сообразованія съ мѣстными особенностями не слѣдуетъ придерживаться впередъ опредѣленныхъ чиселъ. Во всякомъ случаѣ при предварительномъ опредѣленіи потребностей не слѣдуетъ принимать слишкомъ низкія цифры и впередъ исключить тѣ источники, которые скудно удовлетворяютъ настоящимъ потребностямъ и исключаютъ возможность будущаго расширенія или какихъ-либо комбинацій съ другими системами водосборовъ.

При всѣхъ, во всякое время достаточныхъ, водосборахъ весьма значительная часть доставляемой воды остается безъ употребленія, такъ какъ потребность снабжаемой мѣстности измѣняется въ различныя времена года, а доставленіе воды, наоборотъ, соотвѣтствуетъ наибольшему расходу, какъ это обыкновенно бываетъ при резервуарѣ, служащемъ для выравниванія ежедневной потребности. Возможность расширенія ключевого сбора постоянно бываетъ весьма ограничена, и во многихъ случаяхъ даже невозможно увеличить производительность водосборовъ. Такимъ образомъ въ количественномъ отношеніи ключевыя водоснабженія принадлежатъ къ числу наименѣе выгодныхъ, кромѣ только упомянутой въ главахъ 3 и 9, возможности расширенія.

Остающійся всегда параллельнымъ потребности расходъ изъ мощныхъ грунтовыхъ потоковъ, сборныхъ прудовъ, озеръ и рѣкъ даетъ весьма выгодное водяное хозяйство и допускаетъ большей частью неограниченное расширеніе. При прочихъ равныхъ условіяхъ эта система заслуживаетъ преимущества.

2. Потребная высота напора. Во всякомъ современномъ водоснабженіи высота напора должна быть достаточна для провода воды во всѣ этажи домовъ; наоборотъ, въ исключительныхъ только случаяхъ требуется такой напоръ, при которомъ гидранты сѣти могли бы дѣйствовать непосредственно для тушенія пожаровъ [1]). Высота напора, отвѣчающая первой цѣли, можетъ быть названа „городскимъ напоромъ водопроводной сѣти“. Въ городахъ Германіи водопроводы строятся такъ, что высота напора въ 20 метровъ надъ уровнемъ улицы составляетъ почти вездѣ максимумъ городскаго напора; во многихъ случаяхъ эта высота напора можетъ быть сдѣлана еще меньше, какъ напримѣръ при невысокихъ домахъ города, расположеннаго на равнинѣ. Подробно этотъ вопросъ будетъ нами разсмотрѣнъ въ слѣдующемъ отдѣлѣ III; здѣсь только замѣтимъ, что уменьшеніе высоты напора до допускаемаго минимума должно имѣть мѣсто только въ тѣхъ случаяхъ, когда стоимость устройства

[1]) См. „Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung“ 1880, стр. 475; 1883 года, стр. 689 и 1885 года. стр. 942.

водоснабженія значительно увеличивается отъ увеличенія высоты напора. Это имѣетъ мѣсто во всѣхъ водоснабженіяхъ съ искусственнымъ поднятіемъ воды. Если имѣется въ распоряженіи обильный естественный напоръ, то уменьшеніе его до 20 метровъ никогда не оправдывается, преимущественно еще, если вода водопровода находитъ себѣ примѣненіе для дѣйствія моторовъ и проч.

3. Пользованіе имѣющимися источниками. Если изученіе гидрографическихъ условій какой-либо мѣстности указываетъ на возможность удовлетворенія потребности въ водѣ однимъ или цѣлымъ рядомъ имѣющихся и удовлетворительныхъ въ качественномъ отношеніи ключей, то, естественно, эти такъ называемыя надежныя рѣшенія водопроводнаго вопроса выступаютъ на первый планъ. Но не смотря на то, устроенное на такомъ основаніи водоснабженіе можетъ оказаться неудовлетворительнымъ.

Часто, напримѣръ, ключевыя воды, которыя могли бы быть примѣнимы для водоснабженія, употребляются уже для какихъ-либо другихъ цѣлей; въ зависимости отъ мѣстныхъ законовъ отчужденіе ихъ бываетъ затруднительно или даже невозможно. Послѣднее почти безъ исключенія имѣетъ мѣсто въ тѣхъ случаяхъ, когда вода подобныхъ ключей уже примѣняется для снабженія другихъ селеній и проч.

Пользованіе даже рѣчной водой по праву не всегда допустимо, преимущественно при очень большихъ расходахъ. Иногда рѣки служатъ для судоходства или же примѣняются для орошенія луговъ и обширныхъ помѣстій; большей частью онѣ доставляютъ двигательную силу цѣлому ряду приводовъ и т. д. Точно также право пользованія рѣкой можетъ быть имущественное, связанное съ правомъ собственности на землю и почву; въ такихъ случаяхъ отчужденіе бываетъ чрезвычайно затруднительно, а по законамъ нѣкоторыхъ странъ даже невозможно. Во всѣхъ случаяхъ принудительнаго отчужденія требуется доказательство, что предполагаемое водоснабженіе имѣетъ въ виду общественную пользу и не можетъ быть устроено изъ какихъ-либо другихъ источниковъ; послѣднее большей частью не можетъ быть доказано. Кромѣ того, даже въ случаѣ возможности отчужденія части воды, явится необходимость возмѣщенія владѣльцамъ проторей и убытковъ въ видѣ ли денежнаго вознагражденія, улучшенія двигателей или путемъ компенсаціи въ видѣ устройства большихъ сборныхъ прудовъ (см. глава 2). Это обстоятельство вызываетъ крупные расходы, которые иногда далеко не пропорціональны пользамъ устраиваемаго изъ подобныхъ имѣющихся источниковъ водоснабженія.

Послѣднее обстоятельство можетъ имѣть мѣсто и въ томъ случаѣ, когда мѣсто добыванія воды отстоитъ на слишкомъ большое разстояніе отъ снабжаемой мѣстности. Въ подобныхъ случаяхъ исходной точкой могутъ служить денежныя условія, предлагаемыя городомъ. Если извѣстна крайняя сумма, могущая быть израсходованной на устройство водоснабженія, то легко вычислить наибольшую длину трубопровода, превышеніе которой вызоветъ перерасходъ этой суммы. Если на этой предѣльной длинѣ, какъ на діаметрѣ, опишемъ кругъ изъ центра снабжаемой мѣстности, то мѣсто добыванія воды безусловно должно находиться въ предѣлахъ полученной площади круга.

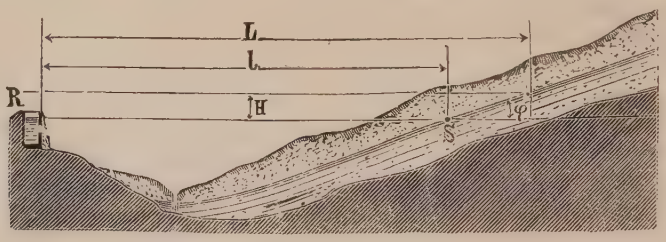
4. Изысканіе ключей и грунтовыхъ водъ. Если въ данной мѣстности не находится качественно и количественно соотвѣтствующихъ источниковъ добыванія воды, или же если такіе источники не могутъ поступать въ наше распоряженіе, то вся потребная вода или часть ея должна быть добыта путемъ изысканій. Способъ изысканія подробно разсмотрѣнъ нами выше (см. глава 6, 7 и 8). Относящіяся сюда работы не всегда бываютъ удачны; этотъ способъ часто бываетъ сопряженъ съ большимъ рискомъ, какъ для города, такъ и для техника, взявшаго на себя отысканіе воды. Во всякомъ случаѣ передъ приступленіемъ къ такимъ работамъ, городъ, поручающій работу, необходимо долженъ примириться съ мыслью, что въ случаѣ неблагопріятныхъ результатовъ предварительныхъ изысканій будетъ потеряна извѣстная болѣе или менѣе значительная сумма денегъ. Техникъ же въ затруднительныхъ случаяхъ подвергается опасности оставить задачу не рѣшенной, вслѣдствіе вообще полученныхъ отрицательныхъ результатовъ или же вслѣдствіе того, что ему не отпущены надлежащія средства, необходимыя для достиженія положительныхъ результатовъ. Не слѣдуетъ еще забывать, что для рѣшенія подобныхъ задачъ требуется умѣнье, опытность и отчасти также и счастье.

Очень часто правильное предпріятіе работъ по изысканію ключей или грунтовыхъ водъ не удается потому, что точныя данныя о производительности могутъ быть получены только путемъ полнаго устройства всего сборнаго соору-

женія (ср. главу 6), на что во многихъ случаяхъ не рѣшаются, ввиду невозможности точнаго предварительнаго опредѣленія его стоимости.

Въ общемъ при всѣхъ подобныхъ работахъ по изысканію воды прежде всего слѣдуетъ добиваться значительнаго грунтоваго резервуара. Его легче всего находить въ наносахъ рѣки, въ которыхъ большей частью устраиваются сборы грунтовыхъ водъ. При нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можетъ оказаться возможность открыть воду въ различныхъ другихъ мѣстахъ. Въ послѣднемъ случаѣ сборъ воды слѣдуетъ расположить въ томъ мѣстѣ, для котораго стоимость водоснабженія будетъ наименьшею, или въ непосредственной близости къ снабжаемой мѣстности, если вода должна подниматься искусственнымъ путемъ, или на извѣстной высотѣ надъ ней, если вода можетъ быть проведена подъ естественнымъ напоромъ.

Если проводъ воды происходитъ подъ естественнымъ напоромъ, то при увеличеніи высоты источника добыванія воды надъ снабжаемой мѣстностью длина трубопровода увеличивается, а діаметръ его уменьшается, и обратно. Ясно, что должно существовать такое положеніе, при которомъ получится наименьшая стоимость всего провода.



Фиг. 178.

Пусть на фиг. 178 означаютъ:

R — резервуаръ, въ который поступаетъ вода изъ провода;

H — высоту мѣста добыванія воды (уровня грунтовыхъ водъ) надъ сливнымъ уровнемъ воды въ резервуарѣ;

L — разстояніе мѣста добыванія воды отъ резервуара;

l — разстояніе мѣста S, у котораго сливной уровень воды резервуара пересѣкаетъ уровень грунтовыхъ водъ;

φ — уголъ, образуемый уровнемъ грунтовыхъ водъ съ горизонтомъ выше мѣста S.

Тогда получаемъ (см. отдѣлъ IV, глава 16):

$$1)\ (L - l)\ \mathrm{tg}\varphi = H = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5},$$

гдѣ D — внутренній діаметръ провода, Q — количество проходящей воды, а λ — коэффиціентъ, зависящій отъ сопротивленій.

Стоимость погоннаго метра уложеннаго чугуннаго трубопровода можетъ быть принята прямо пропорціональной его діаметру; если обозначимъ стоимость всего трубопровода черезъ K, то можно написать:

$$2)\ K = mDL,$$

гдѣ m означаетъ эмпирическій коэффиціентъ, помноженіе котораго на D (въ метрахъ) даетъ стоимость единицы длины (погоннаго метра).

Исключивъ величину D изъ уравненій 1) и 2), получимъ:

$$3)\ K = \sqrt[5]{\frac{m^5 \lambda Q^2 L^6}{\mathrm{tg}\varphi (L-l)}}.$$

Для опредѣленія величины L, при которой стоимость будетъ наименьшей, слѣдуетъ взять первую производную величины K по L и приравнять ее нулю. Отсюда получаемъ:

$$6L^5(L - l) = L^6 = 0, \text{ а слѣд.}$$

$$4)\ L = \frac{6}{5} l$$

При этихъ условіяхъ діаметръ провода по уравненію 1) будетъ:

$$5)\ D = \sqrt[5]{\frac{6\lambda Q^2}{\mathrm{tg}\varphi}}.$$

По уравненію 4) опредѣляется наиболѣе цѣлесообразное мѣсто сбора, т. е. его разстояніе отъ снабжаемой мѣстности въ метрахъ [1]). Имѣя въ виду, что при самомъ сборѣ воды происходитъ пониженіе уровня грунтовыхъ водъ, слѣдуетъ мѣсто S расположить выше сливного уровня воды въ резервуарѣ на величину, соотвѣтствующую этому возможному пониженію (2—3 метра).

Само собой разумѣется, что очень часто замѣчаются уклоненія отъ этихъ зависимостей, полученныхъ путемъ общихъ соображеній. Такъ напримѣръ, иногда опредѣленное подобнымъ образомъ мѣсто добыванія воды въ качественномъ отношеніи уступаетъ другому сосѣднему мѣсту; при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ въ выше расположенной мѣстности земля дешевле, или водоносный слой имѣетъ болѣе соотвѣтствующее строеніе, при которомъ возможенъ болѣе простой сборъ и т. д.

5. Выборъ между искусственнымъ поднятіемъ воды и проводомъ ея подъ естественнымъ напоромъ. Искусственное поднятіе воды помощью насосовъ во многихъ случаяхъ предпочитается, вслѣдствіе меньшей стоимости устройства въ сравненіи съ длиннымъ и широкимъ проводомъ. Но подобное устройство требуетъ безпрерывнаго наблюденія и ухода, безпрерывнаго содержанія его въ исправности, а слѣдовательно и значительнаго ежегоднаго расхода. Если общая сумма процентовъ на капиталъ, амортизаціи и стоимости содержанія при проводѣ подъ естественнымъ напоромъ одинаково съ такой же суммой при искусственномъ поднятіи воды, то выборъ дѣлается довольно легко. Впрочемъ, иногда при приблизительно одинаковыхъ обстоятельствахъ предпочитаютъ поднятіе воды насосами потому, что при этомъ устройствѣ получается возможность увеличенія производительности сооруженія въ извѣстныхъ предѣлахъ, какъ, напримѣръ, увеличеніемъ скорости машины или увеличеніемъ продолжительности рабочаго времени машинъ. Но, съ другой стороны, всякое машинное сооруженіе требуетъ ремонта и обновленія отъ времени до времени, между тѣмъ какъ при проводѣ подъ естественнымъ напоромъ путемъ устройства напорнаго провода сооруженіе можетъ считаться совершенно оконченнымъ. При небольшихъ водоснабженіяхъ послѣднее обстоятельство имѣетъ весьма важное значеніе, такъ какъ вслѣдствіе обыкновенно довольно значительнаго удаленія отъ машиностроительныхъ или механическихъ заводовъ всякій ремонтъ сопряженъ съ затрудненіями и остановками машинъ, влекущими за собой весьма нежелательные перерывы водоснабженія. Въ большихъ городахъ со всевозможными механическими мастерскими и заводами всякое исправленіе можетъ быть произведено хорошо и быстро, такъ что о подобныхъ перерывахъ не можетъ быть рѣчи. Кромѣ того въ разсматриваемомъ случаѣ мѣстныя условія могутъ вызвать нѣкоторыя отклоненія отъ выбора, сдѣланнаго по наименьшей стоимости.

По этимъ соображеніямъ производится выборъ мѣста сбора. Считаемъ нелишнимъ здѣсь упомянуть, что искусственное поднятіе воды помощью машинъ во многихъ случаяхъ встрѣчаетъ себѣ противниковъ, объясняющихъ свое мнѣніе главнымъ образомъ ухудшеніемъ качествъ воды, происходящимъ отъ подыманія ея насосомъ. Нельзя отрицать, что при накачиваніи воды происходитъ нѣкоторое ея нагрѣваніе (см. таблицу въ главѣ 4); но тѣмъ не менѣе это нагрѣваніе большей частью бываетъ весьма незначительное. Запахъ воды отъ смазочнаго масла обыкновенно не замѣчается. Намъ кажется, что при выборѣ мѣста сбора этимъ соображеніямъ можетъ быть отведено второстепенное мѣсто.

Въ слѣдующемъ отдѣлѣ III мы еще вернемся къ вопросу о поднятіи воды помощью насосовъ, о сопряженныхъ съ ними расходахъ и проч.

Цѣль использованія одного или цѣлаго ряда мѣстъ добыванія воды при сравнительно наименьшихъ расходахъ не во всѣхъ случаяхъ достигается вполнѣ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ препятствіемъ къ полному рѣшенію вопроса являются указанныя выше предубѣжденія, составляющія сильную оппозицію раціональному рѣшенію вопроса, не давая послѣднему возможности одержать верхъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, вслѣдствіе ограниченности средствъ, приходится отказаться отъ полнаго рѣшенія вопроса, довольствуясь несовершеннымъ его рѣшеніемъ. Наконецъ, какъ это наиболѣе часто имѣетъ мѣсто, ни одинъ техникъ не въ

[1]) Если принять коэффиціентъ m зависимымъ отъ D, то получается подобное же, но болѣе сложное рѣшеніе, котораго мы здѣсь не приводимъ.

состояніи предвидѣть будущаго: признанные въ настоящее время удовлетворительными источники могутъ современемъ измѣняться такъ, что придется отказаться отъ ихъ примѣненія для этой цѣли; точно также требованія населенія и гигіенистовъ относительно годности источниковъ добыванія воды могутъ возрости и создать другія требованія отъ мѣста сбора воды. Въ этомъ отношеніи необходимо вспомнить о громадной разницѣ въ мнѣніяхъ самихъ гигіенистовъ. Поэтому предвѣщаніе „абсолютно правильнаго рѣшенія“ предварительно не даетъ намъ никакихъ указаній, а дѣйствительнымъ указаніемъ служитъ только окончательный результатъ: готовое сооруженіе совершенно точно укажетъ намъ, заслуживаетъ ли въ данномъ случаѣ выполненный проектъ преимущества, или же преимущество должно было быть отдано другому предложенію.

Приведемъ здѣсь два примѣра, показывающіе, насколько противоположны могутъ быть окончательные результаты въ зависимости отъ внѣшнихъ условій.

Въ Берлинѣ въ 1874 году по предложенію директора водопровода Гилля, основанному на тщательныхъ и обширныхъ предварительныхъ работахъ инженера Вейтмейера, было рѣшено брать необходимую для милліоннаго населенія города воду изъ осадочныхъ отложеній, черезъ которыя протекаютъ рѣки Гавель и Шпре, т. е. устроить водоснабженіе города грунтовой водой. Устроенное по этому предложенію сооруженіе окончено въ 1877 году и пущено въ дѣйствіе 24 Сентября 1877 года. Потребное количество воды доставлялось расположенными въ одинъ рядъ параллельно берегу Тегельскаго озера 23-мя различнаго діаметра (до 4,5 метровъ) фильтровыми колодцами, удаленными другъ отъ друга на разстоянія отъ 50 до 100 метровъ и опущенными въ грунтовую воду водоноснаго слоя. Уже въ 1878 году въ получаемой водѣ обнаружилась болѣзнь водорослей (Chrenotrix), до такой степени загрязнившая воду, что послѣдняя не могла быть примѣнена для большинства цѣлей водоснабженія. Разсмотрѣніе проектовъ улучшенія водоснабженія продолжалось до 16 Марта 1882 года; тогда было рѣшено окончательно отказаться отъ водоснабженія грунтовой водой и перейти къ добыванію воды изъ Тегельскаго озера съ искусственнымъ ея фильтрованіемъ; это сооруженіе было готово съ осени 1883 года и удовлетворяетъ всѣмъ установленнымъ требованіямъ.

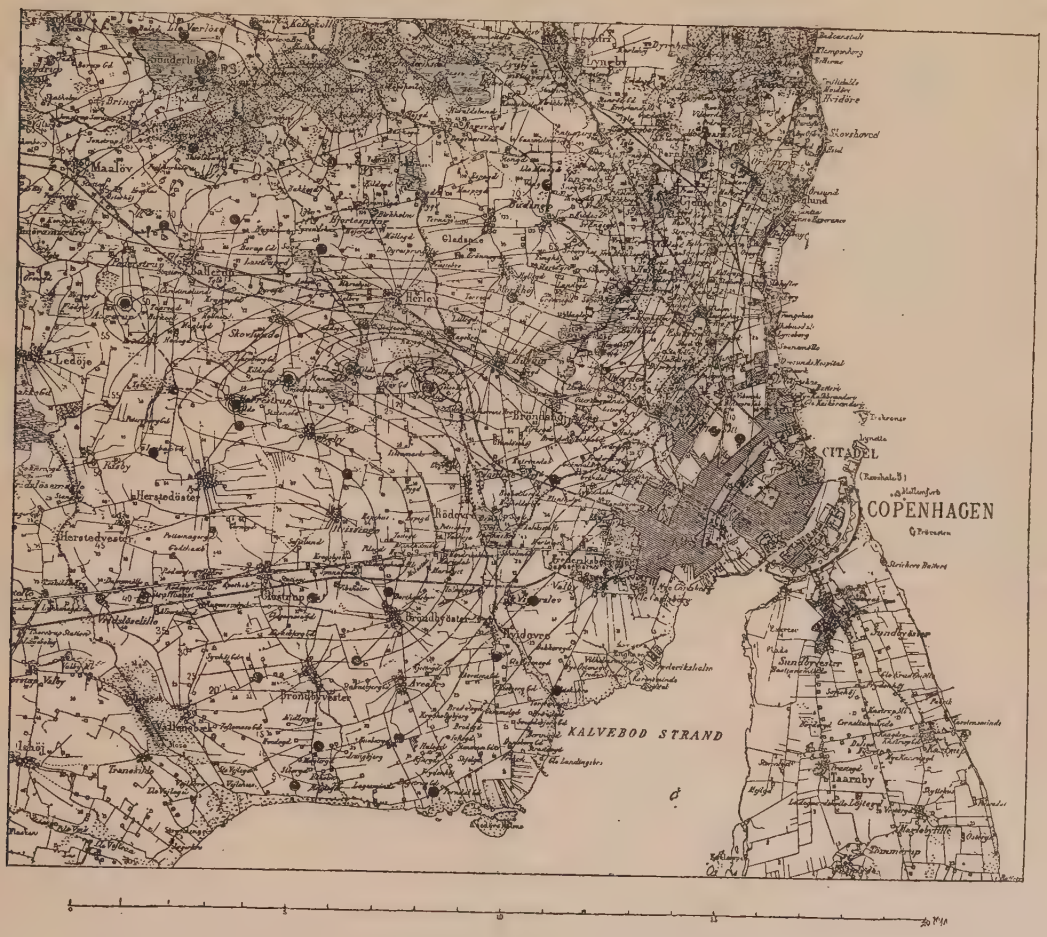
Весьма интересно въ этомъ отношеніи высказанное инженеромъ Гобрехтомъ мнѣніе общаго свойства: „появленіе опредѣленнаго вида водорослей въ глубокихъ колодцахъ при Тегелѣ представляетъ собой весьма поучительный и плодотворный урокъ для гигіенистовъ, слишкомъ пристрастныхъ къ водоснабженію ключевыми и грунтовыми водами, и для тѣхъ общинъ, которыя при своихъ заключеніяхъ руководствуются мнѣніями такихъ лицъ. Только слишкомъ часто и къ слишкомъ большому вреду для общинъ водопроводные техники до сихъ поръ вынуждены были сообразовать свои взгляды съ взглядами врача, вслѣдствіе чего, не взирая на примѣры хорошаго и дурного свойства, доставленные намъ Англіей, устраивали ключевыя водоснабженія тамъ, гдѣ обстоятельства болѣе или менѣе рѣшительно указывали на болѣе выгодное сооруженіе водопровода съ рѣчной водой“.

По поводу этого весьма важнаго вопроса относительно Берлинскаго водопровода появилась довольно богатая литература о Chrenothrix, о грунтовой водѣ и т. д.; всѣ подробныя изслѣдованія привели къ слѣдующему результату: при такомъ значительномъ расходѣ и при мѣстныхъ условіяхъ города Берлина грунтовая вода непримѣнима для водоснабженія.

Какъ разъ обратныя условія оказались въ Датской столицѣ — Копенгагенѣ. Копенгагенскій водопроводъ началъ свое дѣйствіе въ 1860 году и былъ основанъ на пріемѣ воды изъ озера „Damhus Sö“, которое имѣетъ область осадковъ въ 5,674 гектара и емкость воды около 920,000 куб. метр.; озерная вода по открытымъ каналамъ (см. фиг. 179) направлялась къ расположенному посреди города бассейну (St. Jörgens Sö), очищалась искусственнымъ фильтрованіемъ и помощью насосовъ накачивалась въ баки, расположенные на горѣ Фредериксбергъ (Söndermarken). Въ 1870 году городъ устроилъ второй сборный прудъ (Sönder Sö), отстоящій на 19 километр. отъ города, и изъ этого пруда помощью насосовъ вода подымалась на отдѣляющій водораздѣлъ, откуда она подъ естественнымъ напоромъ соединялась съ водой изъ Dahmus Sö. Въ водѣ второго пруда обнаружилось образованіе въ ней водорослей.

Это обстоятельство и благопріятные результаты добыванія грунтовыхъ водъ, обнаружившіеся при обширныхъ, выполненныхъ преимущественно въ 1886 и 1887 годахъ, гидрографическихъ изслѣдованіяхъ въ окрестностяхъ Копенгагена, подали поводъ городу перейти къ

водоснабженію грунтовой водой въ большомъ масштабѣ. Грунтовая вода находится къ сѣверо-западу отъ Копенгагена въ ледниковыхъ обломкахъ, налегающихъ на трудно проницаемые мѣловые пласты. На фиг. 179 показаны существующіе въ настоящее время насосные колодцы, изъ которыхъ вода посредствомъ искусственнаго ея поднятія направляется въ городъ; точно также на чертежѣ показано направленіе горизонталей грунтовой воды во время дѣйствія насосовъ [1]).



Фиг. 179. Общій планъ полученія воды для водопровода гор. Копенгагена.

Въ настоящее время окончено постройкой громадное сооруженіе для добыванія воды изъ крупныхъ валуновъ, расположенныхъ въ окрестностяхъ Sönder Sö. Уровень грунтоваго потока въ мѣстѣ сбора лежитъ на 6 метр. выше уровня озера. Сборъ воды происходитъ помощью ряда колодцевъ, соединенныхъ общимъ проводомъ, оканчивающимся въ нынѣшней насосной станціи у Sönder Sö. Расположенный между Sönder Sö и Копенгагеномъ водораздѣлъ пройденъ туннелью, и затѣмъ вода подъ естественнымъ напоромъ направляется къ Копенгагену по крытому цементному трубопроводу.

Грунтовая вода содержитъ въ себѣ желѣзо, для осажденія котораго вода на короткихъ протяженіяхъ направляется по открытымъ проводамъ. Послѣ окончательнаго устройства новаго водоснабженія грунтовой водой надѣются совершенно оставить и проводъ отъ Damhus Sö.

Изъ всего сказаннаго мы видимъ, что при свободномъ выборѣ между различными источниками добыванія воды окончательное рѣшеніе часто бываетъ весьма затруднительно. Окончательный выборъ главнымъ образомъ затрудняется

[1]) Обозначенные размѣры показаны въ датскихъ футахъ, равныхъ каждый 0,314 метр., они обозначаютъ высоты надъ уровнемъ моря.

еще тѣмъ обстоятельствомъ, что всѣ конкурирующія предложенія основываются на приблизительныхъ смѣтныхъ исчисленіяхъ стоимости, основы которыхъ могутъ быть сильно оспариваемы. Какъ разъ тѣ проекты, которые предлагаютъ сборъ грунтовыхъ водъ (открываніе ключей и проч.) и наилучшимъ образомъ удовлетворяютъ главному желанію получать свѣжую и богатую содержаніемъ углекислоты воду, въ отношеніи исчисленія стоимости бываютъ самые невѣрные. Авторы проектовъ, естественно, съ этимъ не соглашаются. Всякій авторъ проекта въ своихъ изложеніяхъ старается доказать, что всякій другой проектъ, кромѣ имъ предложеннаго, будетъ худшимъ. Однако, между конкурирующими находятся такъ называемые авторитеты, которые проповѣдываютъ одну какую-нибудь излюбленную ими систему (грунтовыя воды, рѣчную воду съ фильтрованіемъ, сборные пруды, поднятіе помощью насосовъ и проч.); этимъ конкурентамъ всегда оказывается исключительное довѣріе и т. д. Такимъ образомъ можетъ случиться, преимущественно въ случаѣ крупныхъ сооруженій, что заказчикъ, несмотря на всестороннее разъясненіе, остается въ полномъ невѣдѣніи и случайно выбираетъ неправильное рѣшеніе вопроса.

При томъ несовершенствѣ, съ которымъ сопряжена всякая человѣческая работа, дѣло не обходится безъ ошибокъ; съ этимъ согласится всякій опытный человѣкъ. Съ другой стороны съ теченіемъ времени постоянно являются новыя усовершенствованія, такъ что способы, нѣсколько лѣтъ тому назадъ казавшіеся совершенно правильными, въ настоящее время отвергаются. При часто затруднительныхъ рѣшеніяхъ о выборѣ мѣста добыванія воды цѣль техника должна состоять въ сознательной и научной разработкѣ технической стороны вопроса.

Сочиненіе профессора ЛЮГЕРА.

„Водоснабженіе городовъ".

Въ русскомъ переводѣ съ дополненіями

Инженера-Технолога **Л. А. ВОРОВИЧА.**

Подъ редакціей профессора **Ф. Е. Максименко.**

ЧАСТЬ III.

Съ 223 рисунками въ текстѣ.

Цѣна 5 руб., съ пересылкой 5 руб. 80 коп.

ИЗДАНІЕ
Книжнаго магазина В. Эриксонъ.
С.-Петербургъ, Вознесенскій пр., 28.
1903.

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ 18-го Октября 1902 г.

Типо Литографія А. Э. Винеке, Екатерингофскій проспектъ, д. № 15.

ОТДѢЛЪ III.

Проведеніе и распредѣленіе воды въ снабжаемой области.

Введеніе.

Чисто гидравлическія соотношенія между количествомъ воды, высотой напора и размѣрами трубопровода и т. под. будутъ разсмотрѣны нами въ отд. IV; въ этомъ же отдѣлѣ разсмотримъ практическія данныя и соображенія, касающіяся проведенія и распредѣленія воды, а также и расположенія соотвѣтственныхъ частей сооруженія. Сперва установимъ потребное для достаточнаго водоснабженія количество воды и затѣмъ уже разсмотримъ способы наиболѣе раціональнаго провода и распредѣленія этой воды по снабжаемой области при данныхъ условіяхъ. При этомъ главнымъ образомъ постоянно будемъ имѣть въ виду возможность расширенія потребностей въ ближайшемъ будущемъ и способы удовлетворенія этихъ потребностей съ возможно наименьшими затратами; другіе способы рѣшенія этого вопроса въ современной техникѣ не считаются раціональными. Вполнѣ ясно, что въ этомъ отношеніи мѣстныя условія имѣютъ первенствующее значеніе: выборъ строительныхъ матеріаловъ и имѣющіяся въ распоряженіи для выполненія работы техническія силы и вспомогательныя средства находятся въ зависимости отъ географическаго положенія снабжаемой области. Независимо отъ этого необходимо принять въ соображеніе условія, связанныя иногда съ исключительнымъ положеніемъ лица или учрежденія, поручающаго эту работу. Очень часто необходимо имѣть въ виду возможность производства работъ при посредствѣ поставщиковъ матеріаловъ и рабочихъ или съ тѣми строительными матеріалами, которые наиболѣе доступны или желательны заказывающему лицу или учрежденію. Въ подобныхъ случаяхъ могутъ явиться побочныя условія, дающія при рѣшеніи задачи не абсолютно а относительно наименьшія затраты.

При отсутствіи побочныхъ условій всегда вообще преимущество отдается тому строительному матеріалу, качества котораго обезпечиваютъ прочность сооруженія въ будущемъ. Уклоненія отъ этого общаго правила могутъ допускаться при сооруженіяхъ болѣе или менѣе временнаго характера, а также и при недостаточности средствъ. Такъ, напр. можетъ случиться, что примѣненіе наилучшихъ и наиболѣе прочныхъ матеріаловъ превышаетъ имѣющіяся для сооруженія суммы, между тѣмъ какъ удовлетворяющее ближайшимъ цѣлямъ рѣшеніе вопроса возможно и при примѣненіи строительныхъ матеріаловъ нѣсколько

болѣе низкаго достоинства; въ подобныхъ случаяхъ нецѣлесообразно отказываться отъ доступнаго хорошаго ввиду недоступнаго лучшаго.

Въ отношеніи качествъ воды далеко не безразлично, по какимъ проводамъ она проходитъ и распредѣляется, а также въ какихъ сборникахъ она сохраняется по пути. Вообще для провода воды гончарныя и цементныя трубы, а также и каменные резервуары заслуживаютъ преимущества предъ металлическими, деревянными и проч. Тѣмъ не менѣе примѣненіе такихъ трубъ довольно ограничено вслѣдствіе относительно малаго ихъ сопротивленія растяженію и сжатію, обусловливаемаго въ большей или меньшей степени самимъ изготовленіемъ этихъ трубъ, свойствомъ матеріала и проч. Въ данномъ случаѣ слѣдуетъ руководствоваться опытомъ. Само собой разумѣется, что мы должны ограничиваться современными данными опыта, не будучи въ состояніи постичь будущее.

Съ указанными ограниченіями мы прежде всего установимъ потребность въ водѣ, чему посвящена гл. 1 этого отдѣла. Здѣсь подробно будутъ разсмотрѣны размѣры потребности въ зависимости отъ мѣстныхъ условій и по соображенію съ возможностью расширенія сооруженія а также и потребность отдѣльныхъ частей сѣти. Затѣмъ разсмотримъ измѣненія потребности въ различныя времена года и дня и вліяніе этихъ измѣненій на способъ распредѣленія воды.

Глава 2 посвящена достиженію необходимыхъ высотъ напора въ снабжаемой области какъ путемъ пользованія существующимъ напоромъ, такъ и путемъ искусственнаго подъема воды. Первый случай разсмотрѣнъ нами довольно подробно въ отд. II, а относящіяся сюда теоретическія соображенія изъ гидравлики будутъ приведены въ отд. IV. Искусственный подъемъ воды будетъ нами разсмотрѣнъ вообще, безъ детальныхъ особенностей устройства, составляющихъ предметъ машиностроенія.

Въ гл. 3 будетъ разсмотрѣнъ вопросъ о проводѣ воды изъ различныхъ водосборовъ, какъ это часто бываетъ необходимо, если все потребное количество воды не можетъ быть доставлено однимъ источникомъ. Выборъ рода сооруженія, наивыгоднѣйшіе діаметры трубъ и профиль канала, и затѣмъ необходимость устройства сборныхъ резервуаровъ, промежуточныхъ бассейновъ и проч. будутъ здѣсь указаны на примѣрахъ и разсмотрѣны съ точки зрѣнія наименьшей стоимости.

Дополненіемъ къ ней служитъ гл. 4, гдѣ разсматривается главный проводъ, его направленіе, продольный профиль и примѣняемый для его устройства строительный матеріалъ. Здѣсь приведено описаніе, поясненное примѣрами устройства акведуковъ, проходовъ подъ рѣками (сифоновъ, дюкеровъ и проч).

Въ гл. 5 разсматривается глубина укладки трубопроводовъ и вообще приспособленія для предохраненія отъ дѣйствія мороза и жары, а также и для вентиляціи открытыхъ проводовъ.

Гл. 6 разсматриваетъ устройство резервуаровъ и однозначащихъ съ ними сооруженій. При этомъ подробно разсматриваются: цѣль этихъ сооруженій, необходимые ихъ размѣры, конструкціи сборниковъ, воздушныхъ колоколовъ, аккумуляторовъ и проч., причемъ приводятся примѣры существующихъ подобныхъ сооруженій.

Въ гл. 7 разсматривается раздѣленіе снабжаемой области на отдѣльные пояса (или участки) съ различными напорами, а также и вліяніе подобнаго раздѣленія на устройство и стоимость дѣйствія водоснабженія. Наивысшее допускаемое и наименьшее требуемое давленіе здѣсь имѣютъ рѣшающее вліяніе.

Въ гл. 8 разсматриваются распредѣлительные проводы (трубопроводы). Здѣсь приведено подробное разсмотрѣніе круговой системы, системы отвѣтвленій, магистральныя линіи, замѣна ихъ при перерывахъ, вентиляція и промывка трубопроводовъ, а также опредѣляется наименьшая ихъ стоимость при данныхъ условіяхъ.

Отвѣтвленія отъ главныхъ трубопроводовъ или магистральныхъ линій къ зданіямъ, гидрантамъ, общественнымъ колодцамъ и фонтанамъ, соотвѣтственное ихъ устройство и размѣры разсматриваются въ гл. 9.

Вообще мы здѣсь изложимъ общіе принципы и вытекающіе отсюда практическіе выводы. Не входя въ разсмотрѣніе детальнаго устройства различныхъ частей водопроводной сѣти, мы предполагаемъ, что понятія: задвижка, вентиль, кранъ, стоякъ, гидрантъ, шлюзовой спускъ, вантузъ и пр. уже знакомы читателямъ.

1. Потребность въ водѣ.

Потребность въ водѣ для городскихъ и др. населеній по отношенію къ обыкновенному расходу ея въ домахъ зависитъ отъ числа жителей; по отношенію къ расходу для особыхъ и промышленныхъ цѣлей — она зависитъ отъ рода этихъ потребностей, а въ отношеніи расхода для общественныхъ надобностей — отъ протяженія и свойства общественныхъ зданій, улицъ, садовъ и площадей. При прочихъ одинаковыхъ условіяхъ потребность въ водѣ бываетъ больше въ тепломъ климатѣ, нежели въ умѣренномъ и холодномъ и возростаетъ также пропорціонально зажиточности населенія. Затѣмъ еще расходъ воды зависитъ отъ ея цѣны, т. е. отъ болѣе или менѣе значительнаго капитала, затраченнаго на добываніе и распредѣленіе воды: чѣмъ затруднительнѣе послѣдняя добывается, тѣмъ бережливѣе вообще обращаются съ ней, и обратно. Наконецъ, на общій расходъ воды весьма большое, если не наибольшее, вліяніе имѣетъ способъ отпуска воды. При прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, при условіи безпрерывнаго водоснабженія, т. е. при возможности полученія воды въ каждое данное время, въ томъ случаѣ, когда отпускъ воды производится по водомѣру, достаточнымъ будетъ гораздо меньшее количество воды, нежели тогда, когда расходованіе безконтрольно предоставлено благоусмотрѣнію абонентовъ за извѣстную оптовую плату. Если вода отпускается абонентамъ въ домовые резервуары въ опредѣленные часы дня (т. е. при перемежномъ водоснабженіи), то расходъ бываетъ меньше, нежели при постоянномъ водоснабженіи за оптовую плату, такъ какъ въ промежутки между 2-мя наполненіями можетъ быть израсходовано не больше емкости одного бака. Кромѣ того при этомъ способѣ отпуска воды нѣсколько улучшаются ея качества вслѣдствіе отстаиванія ея въ домовыхъ резервуарахъ.

Впрочемъ перемежное водоснабженіе вредно въ гигіеническомъ отношеніи, неудобно и дорого, такъ какъ распредѣленіе воды по всей снабжаемой области должно быть произведено въ т е ч е н і е н ѣ с к о л ь к и х ъ ч а с о в ъ, причемъ всѣ трубопроводы должны имѣть значительно большіе размѣры, нежели при безпрерывномъ водоснабженіи. Вслѣдствіе этого подобный способъ въ послѣднее время примѣняется весьма рѣдко.

Водоснабженія отдѣльныхъ помѣщеній, фабрикъ, и проч., само собой разумѣется, по отношенію къ расходу воды могутъ находиться въ особыхъ условіяхъ, которыя здѣсь перечислить невозможно.

Лицо или учрежденіе, желающее устроить водоснабженіе, въ рѣдкихъ случаяхъ знаетъ количество потребной ему воды. Въ большей части случаевъ по-

лагаются на проектирующаго или строителя. Тѣмъ не менѣе, даже если заказчикъ даетъ опредѣленныя цифры, необходимо тщательно изслѣдовать эту главную основу всего водоснабженія, т. е. потребность въ водѣ. Если приведенныя заказчикомъ цифры окажутся неправильными, то инженеру принявшему ихъ въ основу сооруженія современемъ будетъ сдѣланъ весьма справедливый упрекъ въ поддержаніи ошибки своимъ несвоевременнымъ молчаніемъ.

Въ городахъ, придающихъ особое значеніе такъ называемымъ ключевымъ водопроводамъ подъ естественнымъ напоромъ, даже если нахожденіе ключей бываетъ затруднительно, большей частью задается небольшая велечина для измѣренія размѣра потребности въ водѣ. Въ этихъ случаяхъ городъ впередъ отказывается отъ всякихъ расходующихъ воду сооруженій, какъ фонтаны, моторы и проч. Если затѣмъ водопроводъ устроенъ, и вслѣдствіе незначительнаго вначалѣ расхода, какъ это обыкновенно бываетъ, получается излишекъ воды, то тотчасъ же забываютъ о всякой бережливости и приступаютъ къ сооруженію общественныхъ водоразборовъ или колодцевъ, фонтановъ и проч. въ большомъ количествѣ. Когда по истеченіи нѣсколькихъ лѣтъ наступаетъ нормальный расходъ, то уже бываетъ трудно уничтожить устроенныя сооруженія, а если это даже и возможно, то причину этого явленія объясняютъ такимъ образомъ: количество воды уменьшилось, водопроводъ имѣетъ неправильные размѣры и невѣрно разсчитанъ, напоръ оказывается недостаточнымъ и т. д. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ невозможно обойтись безъ подобнаго рода сооруженій, необходимо письменно установить тѣ особыя условія, при которыхъ устроено сооруженіе, и ту бережливость которую необходимо соблюдать при веденіи водяного хозяйства. Еще лучше инженеру вовсе не браться за такія сооруженія, при которыхъ впередъ извѣстно, что принятое въ основаніе разчетовъ количество воды недостаточно.

Приростъ населенія. При водоснабженіи городовъ въ большей части случаевъ необходимо принять во вниманіе, что населеніе современемъ возростетъ и превыситъ существующій его размѣръ, и этотъ приростъ бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше количество населенія и чѣмъ выше относительное благосостояніе населенія; при водоснабженіи селъ, деревень и проч. можно не разсчитывать на большой и быстрый приростъ населенія. Вопросъ о томъ, до какой цифры дойдетъ численность населенія какого-либо города черезъ извѣстный промежутокъ времени, разрѣшается при посредствѣ статистическихъ свѣдѣній, при чемъ по ближайшему прошедшему судятъ о вѣроятномъ будущемъ. Но подобныя заключенія не всегда бываютъ точны. Поэтому раньше всего необходимо выяснить себѣ, нѣтъ ли какихъ-либо особыхъ временныхъ причинъ, исключительно благопріятствующихъ или, наоборотъ, препятствующихъ приросту населенія въ опредѣленные періоды времени; если это дѣйствительно имѣетъ мѣсто, то необходимо принять во вниманіе эти условія при опредѣленіи величины прироста населенія.

Въ этомъ отношеніи упомянемъ для примѣра о вліяніи развитія желѣзнодорожныхъ сообщеній, фабричной промышленности и законодательства. Громадное число складочныхъ пунктовъ на большихъ дорогахъ, на которыхъ раньше кипѣла торговля, въ настоящее время отошли на задній планъ, какъ по количеству населенія такъ и по его благосостоянію, между тѣмъ какъ другія мѣста пріобрѣли значеніе тѣмъ, что лежатъ на узлахъ желѣзныхъ дорогъ или служатъ въ настоящее время передаточными пунктами между желѣзными дорогами и гужевымъ перевозомъ. Успѣхи промышленности и то обстоятельство, что какъ капиталистъ, такъ и рабочій стремятся селиться въ большихъ городахъ съ удобными путями сообщеній, вызвали полный переворотъ въ промышленномъ производствѣ, который въ настоящее время еще не вполнѣ законченъ и путемъ законодательства можетъ принять непредвидѣнныя формы. Поэтому безпрерывное развитіе можно допускать только въ весьма немногихъ мѣстахъ. Тамъ же, гдѣ оно существуетъ, оно продолжается въ геометрической прогрессіи. Если назовемъ черезъ:

Z — настоящее число жителей города,

Z^n — число жителей въ этомъ же городѣ черезъ n лѣтъ, если ежегодный приростъ составляетъ p процентовъ,

то между этими величинами существуютъ слѣдующія зависимости:

$$(1)\ Z_n = Z\,(1 + 0{,}01\ p)^n\ ;$$

$$(2)\ p = 100\left(\sqrt[n]{\frac{Z_n}{Z}} - 1\right);$$

$$(3)\ n = \frac{log\ Z_n - log\ Z}{log\ (1 + 0{,}01p)}$$

Принимая постоянный приростъ населенія, помощью этихъ формулъ легко вычислить соотвѣтственныя зависимости.

Но постоянство прироста населенія во всѣхъ случаяхъ существуетъ только втеченіи весьма короткаго промежутка времени. Это вполнѣ естественно, такъ какъ въ противномъ случаѣ населеніе городовъ по истеченіи длинныхъ періодовъ времени доходило бы до невообразимыхъ цифръ, а при нѣкоторомъ уменьшеніи они совершенно исчезали бы; поэтому эти формулы должны примѣняться съ большой осторожностью.

Разсматривая приростъ населенія наиболѣе крупныхъ городовъ Германіи за послѣдніе года, получаемъ слѣдующія увеличенія:

Города.	Число жителей въ 1875 г.	Процентный приростъ за 1875—80 p =	Число жителей въ 1880 г.	Процентный приростъ за 1880—85 p =	Число жителей въ 1885 г.	Процентный приростъ за 1885—90 p =	Число жителей въ 1890 г.
Берлинъ	966858	2,85	1126330	3,42	1316382	3,70	1578794
Мюнхенъ	193024	4,05	230023	2,47	259931	6,07	349024
Бреславль	269050	2,65	272390	1,87	298893	2,32	335186
Гамбургъ	264675	1,83	289859	1,09	306000	1,15	323923
Лейпцигъ	127387	3,24	149081	2,67	170076	11,65	295052
Кельнъ	135371	1,32	144536	2,17	160926	11,85	281681
Дрезденъ	197295	2,28	220818	2,31	245515	2,41	217522
Магдебургъ	87925	2,70	100354	2,59	114052	11,88	202243
Франкфуртъ на Майнѣ	103136	1,17	137601	2,25	153765	3,23	179985
Ганноверъ	106677	2,86	122860	2,55	139330	3,26	163593
Кенигсбергъ	122636	2,54	139029	1,63	150691	1,42	161666
Дюссельдорфъ . . .	80695	3,42	95459	3,70	114451	4,79	144642
Альтона	84097	1,58	90932	2,81	104457	6,52	143249
Нюренбергъ	91018	1,80	99519	3,15	116193	4,18	142590
Штуттгартъ	107273	1,80	117303	1,36	125510	2,19	139817
Хемницъ	78209	4,00	95123	3,10	110808	4,63	138954
Эльберфельдъ	80589	3,02	93530	2,60	106363	3,43	125899
Бременъ	102535	1,86	112453	1,81	122987	0,43	125684
Страсбургъ	94306	2,07	104471	1,42	112091	1,96	123500
Данцигъ	97931	2,11	108702	1,08	114711	0,97	120338
Барменъ	86504	2,12	95951	1,44	103042	2,42	116144
Галле	60503	3,39	71487	2,75	81869	4,37	101401

Отсюда мы видимъ, что процентный приростъ населенія за отдѣльные періоды мѣняется. Причины этого явленія кроются въ различныхъ условіяхъ. Нѣкоторые города расширяются тѣмъ, что къ нимъ присоединяются отдѣльныя до тѣхъ поръ общины (напр. предмѣстья); въ нѣкоторыхъ приростъ состоитъ преимущественно изъ фабричнаго населенія, и тогда онъ бываетъ гораздо больше, нежели въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ селятся больше живущіе капиталомъ или торговлей и т. д. Внѣшнія условія, напр., война, промышленные или торговые кризисы и т. д. могутъ задержать приростъ населенія, и такія условія не могутъ быть впередъ предвидѣны.

Въ небольшихъ городахъ статистика показываетъ во многихъ мѣстахъ неизмѣняемость населенія, а въ нѣкоторыхъ даже убыль.

Принятіе въ разсчетъ замѣтнаго прироста населенія и размѣръ этого прироста при устройствѣ водоснабженія имѣютъ весьма важное финансовое значеніе. Если возможно дальнѣйшее, по мѣрѣ прироста населенія, увеличеніе сооруженія вызывающее не слишкомъ большую затрату капитала въ сравненіи съ добавочной затратой на расширеніе сооруженія, въ которомъ теперь же принятъ во вниманіе будущій приростъ населенія, то всегда раціональнѣе расширять сооруженіе постепенно, по мѣрѣ надобности.

Если примемъ основной процентъ 4%, то легко опредѣлить сумму S, въ которую обратится капиталъ A черезъ n лѣтъ при начисленіи простыхъ и сложныхъ процентовъ, а именно $S = A \cdot 1{,}04^n$, такъ что, напр., по истеченіи 16 лѣтъ $S = 2\ A$; по истеченіи 27 лѣтъ $S = 3\ A$; по истеченіи 36 лѣтъ $S = 4\ A$ и т. д. Такимъ образомъ если въ настоящее время затрачивается извѣстный капиталъ на сооруженіе, которое окажется необходимымъ только черезъ 16 лѣтъ, то затрата будетъ такая же, какъ если бы на это сооруженіе черезъ 16 лѣтъ былъ бы затраченъ капиталъ вдвое большій и т. д. Такимъ образомъ, другими словами, расширеніе сооруженія въ будущемъ можетъ потребовать большихъ затратъ, нежели при немедленномъ его выполненіи, и тѣмъ не менѣе откладываніе его исполненія не составитъ финансовой ошибки.

При соображеніяхъ подобнаго рода иногда приходится слышать возраженіе: „намъ не временное водоснабженіе нужно, а совершенно опредѣленное и постоянное“. Всякій болѣе или менѣе знакомый съ дѣломъ городскаго водоснабженія знаетъ, что подобная опредѣленность просто даже немыслима. Поэтому мы полагаемъ, что отдаленное будущее должно быть a priori принято во вниманіе лишь тогда, когда это сопряжено съ сравнительно незначительными затратами; во всѣхъ-же остальныхъ случаяхъ оказывается вполнѣ достаточнымъ при устройствѣ водоснабженія принять въ соображеніе ближайшіе 10 лѣтъ, считая отъ времени устройства сооруженія.

Густота населенія. Не слѣдуетъ упускать изъ виду, что во всѣхъ городахъ происходитъ измѣненіе существующихъ условій вслѣдствіе постепеннаго измѣненія густоты населенія. При расширеніи всякаго города старыя части, или такъ называемый центръ, все больше и больше остаются только для торговли и промысловъ (подъ послѣдними не разумѣется фабричная промышленность), между тѣмъ какъ у болѣе состоятельной части населенія замѣчается склонность селиться во вновь устроенныхъ частяхъ города. Естественно, что сперва въ старыхъ частяхъ города густота населенія становится больше, т. е. населеніе живетъ болѣе скученно, нежели въ новыхъ частяхъ города; это продолжается до тѣхъ поръ, пока притокъ населенія не направится въ новыя части, которыя въ такомъ случаѣ окажутся гуще населенными, чѣмъ старыя.

Число людей, живущихъ на опредѣленной застроенной площади города, опредѣляется весьма легко. При рѣшеніи же вопроса о томъ, какъ увеличится съ теченіемъ времени полученная цифра и до какого максимальнаго предѣла она дойдетъ, главное значеніе имѣютъ два обстоятельства.

1) Число этажей, которые могутъ быть надстроены надъ зданіями существующими на разсматриваемой застроенной площади.

2) Требованія удобства, которыя могутъ быть предъявлены населеніемъ къ условіямъ своихъ жилищъ.

Въ отношеніи послѣдняго обстоятельства съ нѣкоторымъ правомъ можно сказать, что чѣмъ на болѣе высокой степени культуры стоитъ народъ, тѣмъ болѣе вниманія удѣляется обществомъ дѣлу народнаго здравія и попеченію о рабочемъ населеніи, и тѣмъ меньше будетъ допускаемое на каждое жилище жителей, и обратно. Въ нѣкоторыхъ особыхъ случаяхъ чѣмъ больше городъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ требованія должны быть умѣреннѣе.

Что касается числа этажей каждаго дома, то въ разныхъ странахъ оно весьма различно. Въ то время какъ въ Англіи, Германіи и другихъ государствахъ 3—4 этажа считаются обыкновеннымъ максимумомъ, въ другихъ государствахъ допускаются 5 до 7 этажей; примѣромъ могутъ служить жилыя башни нѣкоторыхъ итальянскихъ и преимущественно американскихъ городовъ. Тѣмъ не менѣе и въ этомъ отношеніи во всѣхъ государствахъ строительными уставами опредѣляется извѣстная граница. Въ такомъ случаѣ можно опредѣлить наибольшее число жилищъ, прибавляя къ существующимъ новыя по числу допускаемыхъ этажей, и отсюда же вычислить наибольшую будущую густоту населенія.

Весьма важно (главнымъ образомъ для распредѣленія воды по городскимъ сѣтямъ) знать эти соотвѣтственныя числа, такъ какъ по нимъ уже опредѣляется количество воды, которое имѣетъ быть отпущено на каждый погонный метръ длины уличной сѣти.

Число жителей на квадр. единицу застроенной площади вообще весьма различно въ различныхъ мѣстахъ. Такъ, по даннымъ Спатаро на каждые 10 аръ (около 220 квадр. саж.) застроенной площади живетъ жителей: въ Палермо 143; въ Генуѣ 131; въ Венеціи 105; въ Неаполѣ 86; въ Римѣ 73; въ Вѣнѣ 65; въ Туринѣ 57; въ Миланѣ 52; въ Брюсселѣ 47; въ Парижѣ 41; во Флоренціи 39; въ Болоньѣ 32 и въ Эдинбургѣ 28. Въ Германіи на той же застроенной площади городовъ живетъ: въ Берлинѣ 74; въ Бреславлѣ 44; въ Дрезденѣ 32; въ Кельнѣ 31; въ Магдебургѣ и Гамбургѣ 29; въ Мюнхенѣ 25; во Франкфуртѣ на Майнѣ 19 жителей.

Необходимо имѣть въ виду, что въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ густота населенія, какъ существующая, такъ и ожидаемая, можетъ быть опредѣлена только изученіемъ этого вопроса на мѣстѣ. Пользованіе числами, полученными въ этомъ отношеніи въ другомъ мѣстѣ, безъ собственнаго тщательнаго изученія снабжаемой мѣстности, составляетъ крупную ошибку, къ сожалѣнію, весьма часто повторяемую.

Количество воды, требуемое для домоваго водоснабженія. Потребность въ водѣ для домоваго водоснабженія обыкновенно просто пропорціональна числу жителей и вообще возростаетъ съ увеличеніемъ благосостоянія населенія, а въ нѣкоторыхъ предѣлахъ она тѣмъ больше, чѣмъ вода дешевле отпускается, и обратно. При безпрерывномъ водоснабженіи и произвольномъ расходованіи воды за опредѣленную годовую оптовую плату потребность воды на каждаго жителя, какъ мы упомянули выше, довольно велика. Это главнымъ образомъ обнаруживается въ жаркое время года при распредѣленіи ключевой, грунтовой или озерной воды съ низкой температурой. Для возможности постояннаго полученія изъ домашняго водопровода освѣжающей прохладной воды большая часть потребителей воды держатъ кранъ постоянно открытымъ, образуя такимъ образомъ постоянный истокъ, или-же каждый разъ при открываніи крана находящаяся въ домовой трубѣ вода спускается, кранъ держится открытымъ до тѣхъ поръ, пока изъ него начинаетъ вытекать свѣжая вода изъ уличной трубы. При водоснабженіи рѣчной водой опасность въ этихъ случаяхъ не такъ велика, такъ какъ эта вода лѣтомъ бываетъ тепла и менѣе требуется какъ для охлаж-

денія, такъ и для питья. Расходъ воды на каждаго жителя бываетъ значительно меньше, когда, какъ при перемежномъ водоснабженіи, каждый абонентъ получаетъ въ свое распоряженіе только опредѣленное количество воды, или если при безпрерывномъ водоснабженіи каждый расходчикъ оплачиваетъ количество полученной имъ изъ крана воды, какъ это бываетъ при отпускѣ воды по водомѣру. Число лицъ, напрасно тратящихъ воду, въ послѣднемъ случаѣ уменьшается до минимума, такъ какъ напрасная трата воды стоитъ денегъ.

Ввиду указанныхъ фактовъ невольно является вопросъ, почему при безпрерывномъ водоснабженіи не вводится повсюду система отпуска воды по водомѣрамъ, и еще тѣмъ болѣе, что эта система обладаетъ также преимуществомъ, а именно: она легко обнаруживаетъ всякія неисправности трубопровода, такъ какъ при этомъ получается извѣстная разница между количествомъ отпущенной воды и количествомъ проведенной воды. Надо полагать, что въ большей части случаевъ водомѣры примѣнялись бы съ самаго начала устройства водоснабженій, если бы эти приборы раньше были такъ доступны по своей цѣнѣ и обладали такой точностью, какъ въ новѣйшее время. Но такъ какъ эти условія не имѣли мѣста, и дурные результаты напрасной траты воды при безконтрольномъ отпускѣ ея не были такъ точно извѣстны, то во многихъ городахъ были введены тарифы за пользованіе водой, основаніемъ которыхъ служитъ наемная плата за жилое пространство. Помимо этого для большихъ отпусковъ воды назначена продажная цѣна съ каждаго отсчитываемаго по водомѣру кубич. метра, при чемъ эта цѣна назначена гораздо ниже общей оцѣнки воды, такъ что если бы въ настоящее время оцѣнка была повышена, и вода повсюду отпускалась по водомѣрамъ, то общій доходъ отъ предпріятія понизился бы. Поэтому многіе города охотнѣе приносятъ большія жертвы для усиленнаго отпуска воды безконтрольно, нежели для постановки водомѣровъ. Съ другой стороны во многихъ мѣстахъ руководствуются тѣмъ соображеніемъ, что при водяномъ налогѣ, соотвѣтствующемъ наемной платѣ или величинѣ помѣщенія, дешевизна воды для менѣе состоятельной части населенія не вынуждаетъ ее отказаться отъ нужнаго употребленія воды въ достаточномъ количествѣ.

Наименьшее количество воды, потребной въ какомъ-нибудь домѣ для питья, варки пищи, стирки, мытья и проч. (помимо ваннъ), можетъ быть опредѣлено по количеству, установленному для этой цѣли на морскихъ судахъ, и составляющему для матросовъ отъ 4 до 6 литр., а для эмигрантовъ (на англійскихъ и нѣмецкихъ почтовыхъ пароходахъ) по 7 литр. въ день на человѣка. Въ нашемъ среднемъ климатѣ для питья достаточно 2 литр. въ день на человѣка, а въ болѣе жаркомъ климатѣ для этой цѣли требуется не меньше 3 литр. Естественно, что между этимъ минимумомъ и дѣйствительнымъ расходомъ воды въ современномъ домашнемъ хозяйствѣ существуетъ громадная разница.

Германское общество газо- и водопроводныхъ инженеровъ устанавливаетъ норму расхода воды въ обыкновенныхъ жилыхъ мѣстностяхъ на каждаго человѣка въ день:

Для питья, варки пищи и умыванья и пр. 20—30 литр.
Для стирки . . . . . 10—15 литр.,

т. е. въ общемъ отъ 30 до 45 литр. Въ Парижѣ принимается на каждаго жильца дома 45 литр., на каждаго рабочаго 5 литр., а въ казармахъ и т. под. учрежденіяхъ по 20 литр. на человѣка въ день. Въ Лондонѣ расходъ воды колеблется между 15 и 55 литр. въ день на человѣка. Въ Вѣнѣ расходъ воды составляетъ 34 литр. на человѣка въ день.

Всѣ эти числа въ общемъ представляютъ собой болѣе или менѣе воображаемыя цифры; въ дѣйствительности же расходъ воды можетъ быть точно констатированъ въ исключительныхъ только случаяхъ, такъ какъ количество воды, расходуемой для промывки отхожихъ мѣстъ, писсуаровъ, ваннъ, поливки садовъ, поливки дворовъ и тротуаровъ, для домашнихъ животныхъ, мытья экипажей и проч., не опредѣляются отдѣльно отъ общаго расхода воды, и ихъ вообще весьма трудно отдѣлять.

Отнеся расходъ воды для упомянутыхъ цѣлей къ общему требуемому расходу для домашняго водоснабженія, за исключеніемъ опредѣляемаго отдѣльно расхода для промышленныхъ цѣлей, для публичныхъ учрежденій и общественныхъ надобностей, можно принять слѣдующія нормы хозяйственной потребности въ водѣ.

1) Для питья, варки, умыванія и т. д., а также для стирки (по вышеприведенному)	30—45 литр.
2) Для разовой промывки отхож. мѣста	5—6 „
3) Для промывки писсуара:	
a) перемежной, на мѣсто въ часъ	30 „
b) безпрерывной, на 1 пог. метр. промывной трубы въ часъ	200 „
4) Для ваннъ:	
a) для обыкновенной ванны	350 „
b) для сидячей ванны	30 „
c) для душа за 1 разъ	20—30 „
5) Поливка сада въ сухой день, для разовой поливки 1 кв. метра	1,5 „
6) Поливка дворовъ, для разовой поливки площади въ 1 кв. метръ	1,5 „
7) Поливка троттуара, тоже	1,5 „
8) Водопой и чистка лошади, безъ чистки стойла, въ день	50 „
9) Водопой и чистка 1 головы скота безъ чистки стойлъ:	
a) Крупнаго рогатаго скота въ день	50 „
b) Мелкаго рогатаго скота „	10 „
c) Теленка „	8 „
d) Овцы „	8 „
e) Свиньи „	13 „
10) Чистка экипажа для легковой ѣзды, за 1 разъ	200 „

Для собакъ, кошекъ и т. под. домашныхъ животныхъ отдѣльный расходъ исчисляется только въ весьма рѣдкихъ случаяхъ.

Въ Парижѣ ежедневный расходъ воды считается:

На жителя дома	45 литр.
„ пришлаго рабочаго	5 „
„ солдата	20 „
„ лошадь	100 „
„ корову	100 „
„ двухколесный экипажъ	40 „
„ четырехколесныя дрожки	75 „
„ четырехколесный фаэтонъ	150 „
„ 1 квадр. метръ двора или улицы	6 „
„ мастерскую	150 „

Для поливки садовъ, цвѣтниковъ и проч. на 1 кв. метръ:

площадью 1000— 2000 кв. метр.	3 „
„ 2000— 5000 „ „	2 „
„ 5000—10000 „ „	1 „
Для ванны	300 „

Въ извѣстномъ альпійскомъ водоснабженіи города Вюртемберга для промышленныхъ цѣлей, а также для публичныхъ и общественныхъ надобностей расходуется весьма мало воды; главнымъ образомъ расходъ производится частными лицами приблизительно соотвѣтственно приведеннымъ цифрамъ. По сообщенію завѣдывающаго общественнымъ водоснабженіемъ техника за время съ 1885 по 1890 г. расходованы изъ различныхъ группъ ключей слѣдующія количества воды на 1 человѣка въ день*).

*) I означаетъ время съ 1 января по 30 іюня, а II время съ 1 іюля по 31 декабря. Числа округлены въ цѣлыхъ литрахъ.

Группы ключей.	1885		1886		1887		1888		1889		1890		Средній.	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Eyb-Gruppe	—	69	70	71	71	69	75	75	77	81	82	72	75	73
Obere Fils-Gruppe	—	70	67	72	70	87	73	71	70	75	83	84	72	77
Blau-Gruppe	—	80	71	77	85	76	86	78	98	85	91	91	86	81
Blaubeurer Cauter-Gruppe . . .	—	95	91	90	94	92	98	91	71	71	71	67	85	84
Untere Fils-Gruppe.	—	92	90	96	87	102	83	75	88	107	101	106	90	96
Münsinger Cauter-Gruppe . . .	—	95	87	82	80	95	70	76	73	84	85	80	79	85
Zwiefalter-Gruppe	—	94	89	89	90	111	90	69	73	78	89	79	86	87
Untere Schmiech-Gruppe . . .	—	91	111	125	131	120	114	101	112	115	122	125	120	113
Obere Schmiech-Gruppe . . .	—	87	89	83	92	83	92	83	83	85	87	81	88	84

Въ снабженной питьевой водой мѣстности Rauhe Alb расходъ воды производится безконтрольно; ввиду того, что жители заинтересованы въ бережливомъ обращеніи съ водой и вслѣдствіе взаимнаго наблюденія напрасная трата воды весьма мала. Расходъ воды для городскихъ надобностей для поливки улицъ, тушенія пожаровъ и пр. весьма малъ равно какъ и для промышленныхъ цѣлей, такъ какъ въ этой мѣстности почти исключительно преобладаетъ сельское хозяйство. Такимъ образомъ приведенныя числа несомнѣнно могутъ быть примѣнены при подобныхъ же условіяхъ и могутъ служить руководящими цифрами для мѣстностей съ сравнительно сильно развитымъ скотоводствомъ. Эти цифры, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, заслуживаютъ довѣрія, какъ максимальныя цифры, такъ какъ жители Альбъ помимо водопроводной воды не имѣютъ никакихъ другихъ источниковъ для ея добыванія. Въ настоящее время водоснабженіе можетъ считаться обильнымъ; сначала расходъ составлялъ на 1 человѣка въ день между 50 и 60 литр.

Въ городахъ съ отпускомъ воды по водомѣру расходъ для домашнихъ надобностей бываетъ значительно меньше. Но статистически не возможно отдѣлять этотъ расходъ отъ расхода для промышленныхъ цѣлей, такъ какъ необходимыя для промышленности количества воды опредѣляются вмѣстѣ съ расходуемой для домашняго хозяйства. Поэтому мы здѣсь не можемъ привести несомнѣнныя точныя наблюденія. Въ общемъ можно принять, что для вышеприведенныхъ цѣлей, обозначенныхъ п. 1 до 10, вполнѣ достаточно отъ 30 до 80 литр. на человѣка въ день.

Во всякомъ случаѣ при вычисленіи потребности въ водѣ для домашняго хозяйства можно основываться на вы еприведенныхъ цифрахъ, установленныхъ обществомъ германскихъ газо- и водопроводныхъ инженеровъ, принимая при этомъ во вниманіе и особыя мѣстныя условія. При небольшихъ размѣрахъ водоснабженія, какъ напр., въ деревняхъ, никогда не слѣдуетъ придерживаться общихъ цифръ; здѣсь главное вниманіе должно быть обращено на скотоводство, которое даетъ различные результаты въ зависимости отъ характера сельско-хозяйственной промышленности.

Если въ большомъ городѣ расходъ воды производится безконтрольно, то о приблизительномъ размѣрѣ потребности въ водѣ для домашнихъ надобностей никакихъ болѣе или менѣе точныхъ цифръ привести невозможно.

Приведенныя выше цифры расхода воды на человѣка въ день, если это не оговорено, представляютъ собой среднія значенія, соотвѣтствующія продажѣ воды

по водомѣру, и получаемыя раздѣленіемъ общаго годоваго расхода на помноженное на 365 число жителей снабжаемаго города.

Количество воды, потребное для промышленныхъ надобностей. Подобно тому, какъ количество потребной для домашнихъ надобностей воды приблизительно опредѣляется соотвѣтственно числу жителей, предполагаемая потребность воды для промышленныхъ примѣненій тоже можетъ быть опредѣлена приблизительно для данныхъ условій. Разсчеты-же или предположенія насчетъ будущаго сопряжены съ большими затрудненіями, такъ какъ развитіе промышленности только отчасти идетъ параллельно росту населенія. Вообще можно принять, что скотобойни, пекарни, пивоваренные заводы, гостиницы, садоводство, бани и прачешные и т. под. учрежденія развиваются и увеличиваются численно равномѣрно съ увеличеніемъ численности населенія. Отдѣльныя-же учрежденія, какъ напр., красильни, кожевенные заводы, химическія фабрики, ткацкія и прядильныя фабрики, механическія мастерскія и т. под., работающія для болѣе обширнаго круга потребителей, и сооруженіе и развитіе которыхъ обусловливаются исключительно мѣстными или случайными обстоятельствами и потребностями, не находятся ни въ какой зависимости отъ роста населенія. Въ подобныхъ случаяхъ для сужденія о предполагаемомъ увеличеніи числа подобныхъ учрежденій необходимо изслѣдовать, не благопріятствуетъ-ли ихъ развитію удобство мѣста (благопріятныя условія окрестностей въ смыслѣ персонала рабочихъ и т. д.), условія рынка, наличность свободныхъ капиталовъ и т. под.

Промышленныя заведенія съ большей потребностью въ водѣ, какъ напр., писчебумажныя фабрики, целлулозныя фабрики, сахарные заводы и подобныя имъ учрежденія обыкновенно устраиваются внѣ зависимости отъ городскаго водоснабженія. Въ подобныхъ случаяхъ необходимо только принять въ разсчетъ потребность въ питьевой водѣ для рабочихъ и для хозяйственныхъ надобностей живущихъ при фабрикѣ служащихъ и проч. Точно также большіе желѣзнодорожные вокзалы, рѣчныя пристани, морскія гавани и проч. обыкновенно имѣютъ собственныя водоснабженія.

При введеніи общественныхъ скотобоенъ расходъ воды собственно въ мясныхъ лавкахъ или вообще въ мѣстахъ продажи мяса уменьшается до весьма незначительной цифры; въ такихъ случаяхъ можно довольствоваться обыкновенно принятой цифрой на каждаго человѣка изъ рабочаго персонала съ прибавкой къ ней около 10%. Въ пекарняхъ вычисленіе расхода можетъ быть произведено на томъ же основаніи съ прибавкой отъ 10 до 20%. Для пивоваренныхъ заводовъ можно принять на каждый литръ свареннаго пива расходъ воды въ 5 литр. Для гостиницы можно считать на каждаго постояльца въ день около 100 литр. Садовыя заведенія требуютъ отъ 2 до 10 литр. на 1 кв. метр. площади сада въ сухое время, причемъ въ нашемъ климатѣ можно считать вводимое въ вычисленіе сухое время около $^1/_4$ года на рабочій годъ. Въ прачешныхъ считаютъ достаточнымъ 400 литр. воды на каждые 100 килогр. бѣлья; если-же вмѣстѣ со стиркой производится и бѣленіе, то количество воды нужно принять вдвое больше. Въ баняхъ съ ваннами и душами расходъ въ среднемъ можно считать 500 литр. на каждаго посѣтителя. Въ бассейнахъ для плаванія на каждый квадр. метр. площади бассейна можно считать необходимымъ притокъ отъ 60 до 100 литр. въ часъ въ теченіе времени пользованія бассейномъ; сюда еще необходимо прибавить количество воды, расходуемое на правильное обновленіе опоражниваемаго бассейна (лѣтомъ ежедневно, а зимой 2 раза въ недѣлю). Для опредѣленія потребности въ водѣ для кожевенныхъ заводовъ, красиленъ и химическихъ фабрикъ нѣтъ никакого общаго масштаба; во всякомъ случаѣ этотъ расходъ большей частью довольно значителенъ и всегда долженъ контролироваться водомѣромъ. Если извѣстенъ сырой матеріалъ и готовый продуктъ, т. е. если извѣстна производительность фабрики, то въ отдѣльныхъ случаяхъ можно получать нѣкоторыя исходныя точки для сужденія о расходѣ воды.

Количество воды для питанія котловъ при паровыхъ машинахъ на каждую индикаторную лошад. силу въ часъ бываетъ приблизительно слѣдующее:

1. Для небольшихъ машинъ безъ охлажденія съ начальнымъ давленіемъ 5—6 атмосф. . . . . 25—35 литр.
2. Для среднихъ одноцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія и съ нач. давл. 7 атмосф. . . . . 14—17 „
3. Для машинъ компоундъ двойного расширенія безъ охлажденія и съ нач. давл. 6—8 атмосф. . . . . 13—16 „
4. Для среднихъ одноцилиндр. машинъ съ конденсаціей пара и нач. давл. 7 атмосф. . . . . 12—14 „
5. Для машинъ компоундъ двойного расширенія съ конденсаціей и нач. давл. 7—8 атмосф. . . . . 7—10 „
6. Для машинъ тройного расширенія съ конденсаціей и нач. давл. 10—11 атм. 6— 7 „

Вообще расходъ воды на каждую лошад. силу уменьшается съ увеличеніемъ размѣровъ машины и повышеніемъ начальнаго давленія пара.

Для конденсаціи отработавшаго пара при холодной колодезной водѣ требуется въ 25—30 разъ больше воды, нежели для питанія котла.

Расходъ воды Q для дѣйствія гидравлическихъ двигателей зависитъ отъ рабочаго напора H (въ метрахъ) и рода двигателя или отъ коэффиціента его полезнаго дѣйствія η.

Если черезъ A обозначимъ развиваемую двигателемъ въ опредѣленное время работу, то расходъ воды опредѣляется изъ слѣдующей зависимости:

$$Q = \frac{A}{H\,\eta}.$$

Для поршневыхъ двигателей (водостолбовыхъ машинъ) обыкновенно $\eta = 0{,}80$, а для тюрбинъ отъ 0,55 до 0,60. Небольшія водостолбовыя машины обыкновенно строятся въ $^1/_8$, $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ и 1 лош. силу. Для этихъ машинъ расходъ воды въ часъ составляетъ:

Число лошад. силъ машины.	Расходъ воды въ литрахъ въ часъ.							
	$H = 30$	$H = 40$	$H = 50$	$H = 60$	$H = 70$	$H = 80$	$H = 90$	$H = 100$
1	11250	8438	6750	5625	4821	4219	3750	3375
$^3/_4$	8438	6329	5063	4220	3617	3165	2813	2532
$^1/_2$	5625	4219	3375	2813	2411	2110	1875	1688
$^1/_4$	2813	2110	1688	1407	1206	1055	938	844
$^1/_8$	1407	1055	844	704	603	528	469	422

При примѣненіи тюрбинъ потребно количество воды въ 1,3 до 1,5 разъ большее.

Вообще гидравлическіе двигатели служатъ для мелкой промышленности, и если цѣна воды на 1 лошад. силу превышаетъ 3—4 пфенниг. при напорѣ въ 4 атмосф. или 5 пфениговъ при напорѣ въ 3 атм., какъ это обыкновенно имѣетъ мѣсто въ большинствѣ городовъ, то эти двигатели вытѣсняются газовыми.

Въ нѣкоторыхъ городахъ весьма значительное количество воды расходуется устраиваемыми въ гостинницахъ и различныхъ торговыхъ помѣщеніяхъ гидравлическими подъемниками, приводимыми въ дѣйствіе отъ водопровода. Необходимое для этого количество воды прямо пропорціонально производимой работѣ и обратно пропорціонально давленію въ трубопроводѣ; оно опредѣляется точными вычисленіями.

Гумберъ опредѣляетъ общій промышленный расходъ воды въ англійскихъ городахъ между 6 и 45 литр. на человѣка въ день; Ренкинъ опредѣляетъ этотъ расходъ въ 40 литр. Подобный расходъ для американскихъ городовъ, по Фаннингу, составляетъ отъ 20 до 30 литр. Тѣмъ не менѣе при разсчетѣ водоснабженія нельзя совѣтовать руководствоваться этими общими цифрами.

Расходъ воды для общественныхъ надобностей Расходъ воды для общественныхъ надобностей, для поливки улицъ, для общественныхъ учрежденій, для уличныхъ колодцевъ и фонтановъ, для тушенія пожаровъ и проч. тоже не зависитъ исключительно отъ численности населенія. Тѣсно застроенный городъ съ узкими улицами и высокими домами на половину улицъ будетъ тратить весьма мало воды, такъ какъ улицы освѣщаются солнцемъ только весьма короткое время; наоборотъ, городъ съ очень широкими улицами, многими бульварами и проч. будетъ тратить весьма много воды на поливку улицъ. Въ обоихъ этихъ случаяхъ расходъ воды увеличивается со средней температурой, и поэтому потребность для означенной цѣли въ сѣверномъ климатѣ будетъ гораздо меньше, нежели въ южномъ. Благосостояніе города и съѣздъ иностранцевъ или вообще посторонней публики, для которой требуются различныя удовольствія и удобства, имѣетъ весьма важное значеніе на потребность въ водѣ для фонтановъ и проч. Принимая во вниманіе эти условія, не слѣдуетъ упускать изъ виду, что при расширеніи города могутъ произойти крупныя перемѣны въ его положеніи. Для тушенія пожаровъ вообще требуется весьма немного воды; для этого случая необходимо имѣть въ виду возможность доставленія значительныхъ количествъ воды въ теченіе короткаго времени.

Коммиссія Общества германскихъ газо- и водопроводныхъ инженеровъ даетъ слѣдующія цифры потребности въ водѣ для общественныхъ учрежденій и городскихъ надобностей:

1.	Для училищъ на 1 ученика въ учебный день, безъ распыливанія для увлажненія воздуха и безъ устройства бань.	2 литр.
2.	Для казармъ на 1 человѣка въ служебный день .	20 „
	„ „ „ 1 лошадь „ „ „ .	40 „
3.	Для больницы и богадѣленъ на 1 человѣка въ день	100—150 „
4.	Для скотобоенъ общая годовая потребность на каждую голову убиваемаго скота	300—400 „
5.	Для рынковъ, на 1 кв. метръ застроенной площади въ торговый день	5 „
6.	Для палатки для провѣрки мѣръ на каждый кубич. метръ провѣряемой деревянной посуды въ годъ .	1100 „
7.	Для поливки улицъ на 1 кв. метръ поливаемой за одинъ разъ площади:	
	a) мощеныхъ улицъ	1 „
	b) шоссированныхъ улицъ	1,5 „
8.	Для общественныхъ садовъ на 1 кв. метръ поливаемой площади въ сухой день	1,5 „
9.	Для общественныхъ разборныхъ колодцевъ съ кранами (безъ постояннаго истока) на каждый кранъ въ день	3000 „
10.	Для перемежней промывки общественныхъ писсуаровъ, на каждое очко въ часъ	60 „
11.	Для безпрерывной промывки на 1 пог. метръ промывной трубы въ часъ	200 „

Въ общемъ при условіяхъ, имѣющихъ мѣсто въ Германіи, приведенныя цифры даютъ вполнѣ примѣнимыя исходныя точки при проектированіи водоснабженія. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, однако, эти цифры могутъ оказаться слишкомъ недостаточными въ зависимости отъ климата и привычекъ. Здѣсь не приведены значенія весьма обширной потребности въ городахъ для прудовъ и фонтановъ всякаго рода, для промывки сточныхъ каналовъ и для тушенія пожаровъ.

Такъ, напр., въ жаркомъ климатѣ расходъ воды для скотобоенъ и для рынковъ можетъ возрасти до двойнаго или даже четвернаго приведеннаго количества.

Для поливки улицъ принята цифра отъ 1 до 1,5 литр. въ предположеніи, что поливка производится разъ въ день помощью поливной телѣжки или бочекъ. Въ Парижѣ, гдѣ въ жаркое время года улицы буквально смываются или сметаются подъ притокомъ воды, на 1 кв. метр. площади улицы расходуется отъ 6 до 7 литр.; въ Римѣ для этой цѣли потребно 4 литр. Въ Килѣ, наоборотъ, 500 литрами воды поливается площадь улицы въ 1900 кв. метр., такъ что тамъ расходуется 0,26 литр. на 1 кв. метръ площади улицы.

Точно также потребность для поливки общественныхъ садовъ въ южномъ климатѣ бываетъ больше, нежели въ сѣверномъ, гдѣ она опредѣляется вышеприведенной (п. 8) цифрой.

Приведенныя подъ п. 9 и 10 цифры имѣютъ повсюду одинаковое значеніе.

Расходъ воды для украшающихъ колодцевъ, если мы къ этой категоріи отнесемъ всѣ постоянно дѣйствующіе общественные водоразборные колодцы и фонтаны, бываетъ чрезвычайно различенъ. Первые изъ этихъ колодцевъ въ ровныхъ мѣстностяхъ встрѣчаются весьма рѣдко; они часто встрѣчаются въ гористыхъ и холмистыхъ мѣстностяхъ Германіи, Австріи, Швейцаріи, Франціи и пр. Эти, большей частью украшенные статуями и поставленные въ срединѣ большихъ чашъ или вазъ, колодцы съ постояннымъ истокомъ бываютъ снабжены 1, 2 и 4-мя сточными трубками; чаши частью служатъ для водопоя и частью для тушенія пожаровъ.

Относящіеся къ этой категоріи колодцы Wallace'a въ Парижѣ даютъ 4 куб. метр. за 24 часа; постоянные истоки старыхъ римскихъ водопроводовъ даютъ отъ 4,32 до 64,8 куб. метр. но большей частью 10,8 куб. метр. за 24 часа. Устроенные въ Штуттгартѣ съ постояннымъ истокомъ общественные водоразборные колодцы для доставленія питьевой воды даютъ по 11 куб. метр. на каждую трубку за 24 часа, а колодцы во Фрейбургѣ даютъ половину этого количества. Если отъ колодца съ постояннымъ истокомъ требуется, чтобы онъ наполнялъ обыкновенный водяной чанъ въ теченіи 4—5 минутъ, то для такого колодца требуется 7,5 куб. метр. за 24 часа. Эти данныя могутъ служить руководствомъ при опредѣленіи потребности въ водѣ для колодцевъ съ постояннымъ истокомъ.

Расходъ воды для фонтановъ или водометовъ, для надлежащаго ихъ дѣйствія, чрезвычайно значителенъ. Общихъ данныхъ для опредѣленія этого расхода не существуетъ; считаемъ, однако, нелишнимъ прибавить, что эти сооруженія иногда служатъ во вредъ общимъ водопроводнымъ сооруженіямъ, и тамъ, гдѣ для цѣлей роскоши имѣется въ распоряженіи мало денегъ, слѣдуетъ по возможности отказываться отъ подобныхъ сооруженій.

Въ слѣдующей таблицѣ приведенъ секундный расходъ воды въ литрахъ для нѣкоторыхъ извѣстныхъ фонтановъ, причемъ необходимо замѣтить, что эти сооруженія дѣйствуютъ только временами — по нѣсколько часовъ въ день или одинъ только разъ въ недѣлю

1)	Фонтанъ на площади „Piazza S. Pietro in Montorio“ въ Римѣ	350 литр.
2)	Фонтанъ въ видѣ снопа водяныхъ струй на площади „Трокадеро“ въ Парижѣ	240 „
3)	Фонтанъ на площади „Piazza di Trevi“ въ Римѣ	200 „
4)	Шварценбергскій фонтанъ въ Вѣнѣ	150 „
5)	Фонтанъ въ видѣ снопа на Національной площади въ Парижѣ	120 „
6)	Одиночная струя въ большомъ бассейнѣ Штуттгартскаго замковаго сада	100 „
7)	Каскады „Buttes-Chaumont“ въ Парижѣ	80 „
8)	Фонтанъ на „Piazza Termini“ въ Римѣ	75 „
9)	„ „ „Piazza del Mosé“ въ Римѣ	68 „
10)	Одиночная струя въ Цвингскомъ прудѣ въ Дрезденѣ	56 „
11)	Фонтаны на площади Согласія въ Парижѣ (каждый)	50 „
12)	Фонтанъ „Сенъ-Мишель“ въ Парижѣ	44 „
13)	Фонтанъ „des Innocents“ въ Парижѣ	37 „
14)	Фонтаны на дворцовой площади въ Штуттгартѣ (каждый)	36 „
15)	„Fontane dei 4 Fiumi, Piazza Navona“ въ Римѣ	35 „
16)	Фонтанъ на „Piazza del Quirinale“ въ Римѣ	32 „
17)	„ „ „Piazza del Campidoglio“ въ Римѣ	30 „

18)	Водометъ въ большомъ бассейнѣ Тюльери въ Парижѣ.	25 литр.
19)	Фонтаны передъ французскимъ театромъ въ Парижѣ (каждый).	18 „
20)	Фонтаны на „Albertsplatz“ въ Дрезденѣ (каждый) . . .	17 „
21)	Каскады „Parc de Montsouris“ въ Парижѣ	15 „
22)	Фонтанъ на „Piazza del Popolo“ въ Римѣ	11 „
23)	„ „ „del Nettuno“ тамъ-же	9 „
24)	Фонтанъ на Стризенской площади въ Дрезденѣ. . . .	8 „
25)	Водопадъ въ дворцовомъ саду въ Карлсруэ въ Баденѣ .	6 „
26)	Фонтаны въ переднемъ дворцовомъ дворѣ въ Карлсруэ (каждый).	5 „
27)	Фонтанъ предъ памятникомъ Гебелю въ дворцовомъ саду въ Карлсруэ	1 „

Расходъ воды для промывки сточныхъ каналовъ (подъ которой мы разумѣемъ добавочную промывку) тоже чрезвычайно различенъ. Разсматривая расходуемую для промывки сточныхъ желобовъ воду вмѣстѣ съ той, которая непосредственно впускается въ каналы, согласно результатамъ, полученнымъ путемъ статистическаго сопоставленія дѣйствія 88 водопроводовъ, подвѣдомственныхъ германскому обществу газо- и водопроводныхъ инженеровъ, получаемъ расходъ воды, выраженный приведенными въ слѣдующей таблицѣ числами:

Названіе города.	Отчетный годъ.	Число жителей снабжаемой области.	Общій годовой расходъ A въ куб. метр.	Расходъ воды B для промывки въ куб. метр.			100 B: A въ процентахъ.	Средній расходъ воды на 1 жителя въ день въ литр.	Средній расходъ водыдля промыв. на 1 жителя въ день въ литрахъ.
				Промывка каналовъ.	Промывка сточныхъ желобовъ.	Вмѣстѣ.			
Берлинъ	1890	1427148	35411022	1177390	120158	1297548	3,66	68	2,5
Бреславль. . . .	1890	330000	9202405	111972	23500	135472	1,47	76	1,1
Нюренбергъ . . .	1891	145000	3484000	86481	—	86481	2,48	67	1,7
Эльберфельдъ . . .	1890	135000	4966749	256200	37200	293400	5,91	98	5,8
Брауншвейгъ . . .	1890	100000	2523669	215000	70000	285000	11,29	69	7,8
Висбаденъ	1890	62000	1764770	130000	5500	135500	7,68	75	5,8

Въ Берлинѣ, гдѣ всѣ сточныя воды выкачиваются изъ каналовъ (если онѣ не выходятъ черезъ запасные выпуски, что, впрочемъ, не имѣетъ вліянія на наши разсужденія), расходъ воды для добавочной промывки долженъ достигнуть своего минимума, такъ какъ тамъ нѣтъ постоянно дѣйствующихъ водоразборныхъ колодцевъ, какъ въ Нюренбергѣ и Бреславлѣ, и рѣчная промывка невозможна. Для города Висбадена, гдѣ въ сточные каналы поступаетъ много воды изъ теплыхъ источниковъ, изъ фонтановъ и проч., но гдѣ при этомъ весьма бережно обращаются съ ключевой водой, получаются такія числа, которыя при свободномъ истокѣ воды изъ каналовъ считаются слишкомъ малыми. Тамъ, гдѣ имѣется въ распоряженіи громадное количество воды за дешевую цѣну, можно считать расходъ на добавочную промывку каналовъ отъ 8 до 10 литровъ въ день на человѣка. При опредѣленіи этого количества весьма важное значеніе имѣетъ обстоятельство, устроена-ли сплавная канализація съ промывкой фекальныхъ массъ или же промываются только кухонныя и хозяйственныя сточныя воды; въ послѣднемъ случаѣ добавочной воды требуется меньше, нежели въ первомъ случаѣ. Точно также при этомъ имѣетъ значеніе самое устройство сѣти каналовъ, т. е. устроено ли много большихъ каналовъ, или же они большей частью устроены малыхъ размѣровъ; чѣмъ меньше каналы, тѣмъ они легче могутъ содержаться въ чистотѣ, и обратно. Кромѣ того необходимо еще принять въ соображеніе, получается ли вода для промывки изъ какихъ-либо другихъ источниковъ помимо водопровода. Наконецъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ городахъ съ общественными

фонтанами, водоразборами и проч. сточныя воды этихъ послѣднихъ служатъ для промывки сточныхъ каналовъ, такъ что количество потребной для этой цѣли воды бываетъ меньше. Больше всего изъ водопровода расходуется воды для промывки каналовъ тамъ, гдѣ многія улицы города расположены на склонахъ горъ, вслѣдствіе чего въ сѣти каналовъ получается много высокорасположенныхъ тупыхъ концовъ отдѣльныхъ вѣтвей, для промывки которыхъ вода берется исключительно изъ водопродова.

Громадныя количества воды для промывки каналовъ расходуетъ городъ Парижъ. По приведеннымъ въ „Journal des Debats“ за 1883 г. статистическимъ даннымъ соотношеніе между притокомъ воды къ водопроводу и его расходомъ выражается слѣдующими цифрами:

Притокъ въ день.		Расходъ въ день.	
Изъ ключей Ваннъ	100000 куб. м.	Для промывки каналовъ . .	139000 куб. м.
„ „ Дюи	21000 „	Для поливки улицъ и площадей	65000 „
„ „ Аркейль. . . .	2000 „	Для водоснабженія домовъ .	95000 „
„ Уркскаго канала. . . .	125000 „	Для питанія общественныхъ учрежденій	23000 „
„ Сены	60000 „	Для питанія разборныхъ колодцевъ.	9000 „
„ Марны	54000 „	На потери	38000 „
„ артезіанскихъ колодц.	7000 „		
Всего	369000 куб. м.	Всего	369000 куб. м.

Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ расходъ для промывки каналовъ составляетъ 38% всего расхода воды.

Расходъ для тушенія пожаровъ не можетъ быть точно опредѣленъ и, какъ мы упомянули выше, вообще весьма незначителенъ. Тимъ находитъ, что за весьма малыми исключеніями, относительная величина потребности въ водѣ для тушенія пожаровъ составляетъ менѣе 0,1 %, всего расхода воды.

Къ расходу воды для общественныхъ надобностей слѣдуетъ отнести также и такъ называемый собственный расходъ самого водопровода, какъ, напр., для питанія котловъ при водоподъемныхъ машинахъ (иногда для охлажденія примѣняемыхъ газовыхъ или керосиновыхъ моторовъ), для конденсаціи отработавшаго пара, для промывки трубопроводовъ, для водомѣрныхъ испытательныхъ станцій, для гидравлическаго испытанія вновь укладываемыхъ вѣтокъ, при чисткѣ резервуаровъ, для наполненія сѣтей при новыхъ отводахъ и т. д. Количество воды, потребное для питанія котловъ и для конденсаціи можетъ быть опредѣлено по приведеннымъ выше цифрамъ. При примѣненіи газовыхъ или керосиновыхъ моторовъ количество охлаждающей воды приблизительно одинаково съ количествомъ питательной воды, потребной для питанія котла при машинѣ той же силы. Для промывки водопроводной сѣти расходъ воды большей частью не превышаетъ 0,5 % общаго расхода. Пробныя станціи для испытанія водомѣровъ требуютъ въ круглыхъ числахъ 150 до 200 литр. въ годъ для каждаго находящагося въ сѣти водомѣра. Расходъ для гидравлическаго испытанія сѣтей при большихъ давно работающихъ водопроводахъ настолько малъ, что можетъ быть совсѣмъ упущенъ изъ виду; при новыхъ водопроводахъ количество потребной для этой цѣли воды предварительно не можетъ быть опредѣлено.

Во многихъ руководствахъ ежедневный средній расходъ воды для всѣхъ общественныхъ и городскихъ надобностей считается вмѣстѣ и приводится къ извѣстному расходу на 1 жителя въ день. Гумберъ признаетъ достаточнымъ 5 литр., а Ренкинъ (для англійскихъ городовъ) признаетъ нужнымъ для поливки улицъ, промывки каналовъ и случаевъ пожара 15 литр. въ день на каждаго жителя. Для городовъ Сѣверо-Американскихъ Соед. Штатовъ Фаннингъ опредѣляетъ расходъ для общественныхъ водоразборныхъ колодцевъ 15 до 20 литр. на жителя въ день, и 45 литр. втеченіи трети года для поливки улицъ и промывки, такъ что распредѣленный на весь годъ этотъ расходъ составляетъ отъ 30 до 35 литр. Въ Парижѣ расходъ воды для общественныхъ надобностей, по Вешману, составляетъ отъ 80 до 100 литр. въ день на каждаго жителя. Нѣтъ никакихъ основаній сомнѣваться въ достовѣрности приведенныхъ цифръ; тѣмъ не менѣе при разсчетѣ водоснабженія нельзя рекомендовать подобныя общія соображенія. Болѣе цѣлесообразно будетъ установить эти цифры расхода тщательнымъ изученіемъ условій въ каждомъ данномъ случаѣ.

Потери воды. Независимо отъ безполезной траты воды потребителями, при каждомъ водоснабженіи происходятъ неизбѣжныя потери воды, которыя необходимо принять въ соображеніе для избѣжанія ошибки въ опредѣленіи достаточности предвидимаго количества воды.

Прежде всего потеря происходитъ отъ сливающейся воды. При постоянно колеблющемся расходѣ воды въ снабжаемой области и при болѣе или менѣе постоянномъ ея притокѣ, вода часто доставляется и тогда, когда резервуары полны, а расходъ бываетъ меньше притекающаго количества. Въ этомъ случаѣ происходитъ отводъ излишней воды изъ резервуаровъ.

Этотъ сливъ воды при искусственномъ поднятіи ея насосами бываетъ относительно невеликъ, такъ какъ при правильно организованной работѣ доставленіе воды производится сообразно расходу. Если въ сѣти имѣется резервуаръ, могущій уравнивать, по крайней мѣрѣ, ежедневныя колебанія, происходящія при дѣйствіи водопровода, то при внимательномъ уходѣ переливаніе воды изъ бака можетъ быть доведено до нуля. Въ тѣхъ же водопроводахъ, въ которыхъ существуетъ постоянный притокъ, колеблющійся по временамъ года, но не идущій параллельно расходу, большей частью значительное количество воды остается неизрасходованнымъ и безполезно стекаетъ въ видѣ такъ называемой излишней воды. Количество этой сливающейся воды увеличивается въ обратномъ отношеніи къ величинѣ резервуара. Впрочемъ мы еще вернемся къ этому предмету ниже (см. гл. 6); здѣсь замѣтимъ только, что при обыкновенно принятомъ устройствѣ резервуаровъ для уравниванія дневнаго расхода въ случаѣ водоснабженія съ постояннымъ притокомъ потеря воды отъ ея сливанія можетъ дойти до одной трети всего притекающаго втеченіи года количества воды.

Затѣмъ потери происходятъ еще отъ неплотностей въ распредѣлительныхъ трубопроводахъ. Нѣтъ ни одного водопроводнаго сооруженія, въ которомъ сначала не было-бы такихъ неплотностей, или въ которомъ онѣ не образуются съ теченіемъ времени, какъ бы тщательно ни укладывалась водопроводная сѣть. Постоянное раскапываніе улицъ въ городахъ для устройства всевозможныхъ подземныхъ сооруженій, преимущественно устраиваемая послѣ водопровода канализація и проч., не дозволяютъ почвѣ, а слѣд. и находящейся въ ней водопроводной сѣти, придти въ состояніе покоя. Но эти неплотности являются не только въ магистральныхъ или уличныхъ сѣтяхъ, а преимущественно на частныхъ отвѣтвленіяхъ въ дома. Самыя строгія указанія и наиболѣе внимательный присмотръ могутъ только нѣсколько уменьшить эти неплотности; но никогда и нигдѣ невозможно окончательно предотвратить ихъ.

Существуетъ много способовъ для своевременнаго распознаванія и окончательнаго уничтоженія этихъ потерь. Не останавливаясь здѣсь на ихъ описаніи, упомянемъ только, что тщательнымъ контролемъ при помощи участковаго водомѣра сист. Дикона въ Ливерпулѣ удалось понизить приходившійся въ 1875 г. ежедневный расходъ на каждаго жителя съ 146 литровъ до 72 литр. Въ Глазговѣ въ 1881 году общій расходъ составлялъ 222 литра на жителя въ день, причемъ потеря составляла 171 литръ на жителя въ день; при посредствѣ участковыхъ водомѣровъ послѣднюю въ весьма короткое время удалось понизить до 80 литр. Въ Ламбетскомъ водопроводѣ въ Лондонѣ въ 1881 году удалось понизить расходъ съ 214 литр. до 50 литр. въ день на человѣка. Въ Глочестерѣ въ 1884 г. ежедневный общій расходъ удалось уменьшить съ 4,300,000 куб. метр. до 2,700,000 куб. метр., въ Ланкастерѣ въ 1884 г. расходъ съ 273 литр. былъ уменьшенъ до 115 литр. въ день на человѣка; въ Гертфордѣ въ 1886 г. расходъ за четверть года былъ уменьшенъ съ 95,400,000 куб. метр. до 45,400,000 куб. метр. и т. д. Отсюда видно, до какого размѣра могутъ дойти потери при небрежномъ контролѣ.

При весьма тщательномъ содержаніи сѣтей трубъ и точномъ наблюденіи за частными проводами потери отъ неплотностей могутъ быть уменьшены до 10—15 % общаго расхода воды. Въ нормальныхъ случаяхъ при старыхъ трубопроводахъ потери отъ неплотностей обыкновенно составляютъ до 20 %, и сѣть трубъ не можетъ быть признана негодной, если потеря отъ неплотностей доходитъ даже до 25—30 %.

Потери, происходящія отъ напрасной траты воды абонентами какого-нибудь водопровода, не поддаются никакой оцѣнкѣ. Онѣ происходятъ только тамъ, гдѣ вода отпускается безконтрольно и почти совершенно исчезаютъ со введеніемъ водопроводовъ.

Въ извѣстномъ смыслѣ, преимущественно при исчисленіи прибылей съ предпріятія и проч., потерей слѣдуетъ считать также тѣ количества воды, которыя должны оставаться внѣ всякаго контроля вслѣдствіе неточностей показаній водомѣровъ; онѣ обыкновенно причисляются къ потерямъ отъ неплотностей трубъ. Очень часто случается, что изъ водопроводной сѣти вода заимствуется скрытымъ образомъ; само собой разумѣется, для исчисленія такихъ потерь не можетъ существовать никакого масштаба.

Полный расходъ. Выше мы видѣли, что вода городскихъ водоснабженій очень часто расходуется для такихъ цѣлей, которыя совершенно независимы отъ численности населенія, т. е. совершенно независимы отъ увеличенія или уменьшенія численности населенія Даже обыкновенный домашній расходъ воды не опредѣляется исключительно только числомъ людей въ снабжаемомъ домѣ. Напр., при небольшомъ напорѣ въ сѣти, или въ случаѣ перемежнаго снабженія, или, наконецъ, въ томъ случаѣ, когда жители дома всю потребную имъ воду должны доставлять себѣ изъ постоянно дѣйствующихъ колодцевъ на улицахъ или дворахъ, относительный расходъ гораздо меньше, нежели въ случаѣ безпрерывнаго снабженія подъ высокимъ напоромъ во всѣхъ этажахъ. Такимъ образомъ не только различіе въ цѣляхъ расхода, но и свойства самого водоснабженія имѣютъ весьма замѣтное вліяніе на общій расходъ воды, который, строго говоря, не можетъ постоянно считаться пропорціональнымъ численности населенія. Существованіе въ двухъ городахъ одинаковыхъ, уклоняющихся отъ общихъ нормъ расхода, условій нисколько не служитъ основаніемъ для пропорціональности расхода, или вообще не даетъ одинаковой цифры потребности, приходящейся на каждаго жителя въ день. Значительная разница въ количествѣ расходуемой воды, какъ мы упомянули выше, обусловливается еще большимъ или меньшимъ матеріальнымъ благосостояніемъ населенія.

Такъ, напр., извѣстно, что города Римъ и Парижъ обладаютъ наибольшимъ количествомъ фонтановъ въ сравненіи съ другими городами; въ Римѣ для этой цѣли ежедневно расходуется около 64,000 куб. метр. воды, а въ Парижѣ около 23,000 куб. метр. Распредѣляя общія расходуемыя для этой цѣли количества воды на число жителей, т. е. на 400,000 для Рима и на 2,500,000 для Парижа, мы увидимъ, что въ Римѣ расходъ для этой цѣли составляетъ 160 литр., а въ Парижѣ 9 литр. на жителя въ день. Такимъ образомъ можно впасть въ грубую ошибку, если мы изъ того обстоятельства, что въ обоихъ этихъ городахъ находятся въ дѣйствіи многочисленные фонтаны, будемъ заключать, что на каждаго человѣка въ день долженъ получиться одинаковый расходъ въ обоихъ этихъ городахъ.

Въ бѣдныхъ частяхъ Лондона населеніемъ расходуется для домашнихъ надобностей около 4,5 литр. на человѣка въ день, между тѣмъ какъ въ богатыхъ дворцахъ Рима для той-же цѣли расходуется 500 литр. на человѣка въ день. Эти же разсужденія вполнѣ примѣнимы къ расходамъ для промышленныхъ цѣлей и общественныхъ и городскихъ надобностей, какъ это видно изъ вышеприведенныхъ данныхъ.

Не смотря на это, путемъ сравненія съ другими цифрами расхода, соотвѣтствующими опредѣленнымъ условіямъ, можно по меньшей мѣрѣ установить тѣ предѣлы, между которыми должна колебаться соотвѣтствующая каждому отдѣльному случаю цифра; этимъ путемъ предварительно получается болѣе или менѣея сное понятіе о дѣлаемыхъ предположеніяхъ.

Кромѣ того ненормальныя условія расхода воды (какъ напр., въ Римѣ и Парижѣ), по мѣрѣ затрудненія добыванія ея въ большихъ городахъ, постепенно исчезаютъ и тѣмъ больше, чѣмъ больше распространяется способъ измѣренія

количествъ израсходованной воды помощью водомѣровъ. Такимъ образомъ цифры расхода при одинаковыхъ внѣшнихъ условіяхъ дѣлаются приблизительно постоянными, и поэтому установленіе ихъ имѣетъ весьма большой интересъ.

Наиболѣе часто примѣняемая цифра въ этомъ отношеніи приведена еще Дарси, который считаетъ достаточнымъ средній расходъ въ 150 литр. на человѣка въ день.

Для условій, имѣющихъ мѣсто въ Германіи (т. е. при измѣреніи расхода помощью водомѣровъ), обыкновенно принимаютъ совокупный средній расходъ на человѣка въ день:

1. Въ селахъ и небольшихъ городахъ . . . . . 50—100 литр.
2. Въ городахъ съ населеніемъ свыше 5000 жителей. . 60—120 „

Выше нами приведены цифры расхода въ день на человѣка для нѣкоторыхъ большихъ городовъ Германіи. Въ слѣдующей таблицѣ приведены свѣдѣнія о нѣкоторыхъ также крупныхъ городахъ Германіи.

Названіе города.	Число жителей въ году:							Средній расходъ воды на человѣка въ день въ литр.			
	1875	Приростъ %	1880	Приростъ %	1885	Приростъ %	1890	1875	1880	1885	1890
Кельнъ	135371	1,32	144537	2,17	160926	11,85	281681	73,3	78,9	122,6	130,0
Дрезденъ	197295	2,28	220818	2,34	245515	2,41	276522	23,9	62,6	72,0	80,7
Дюссельдорфъ . . .	80695	3,42	95459	3,70	114451	4,79	144642	43,9	72,8	85,4	96,4
Штуттгартъ	107273	1,80	117303	1,36	125510	2,19	139817	82,2	65,7	95,8	98,0
Галле на З.	60503	3,39	71484	2,75	81869	4,37	101401	89,1	98,4	114,7	87,9
Дортмундъ	57742	2,88	66546	3,30	78289	2,75	89663	142,8	176,0	268,1	297,3
Любекъ	44799	2,64	51014	1,70	55498	2,76	63590	60,8	117,6	197,1	200,0
Дуисбургъ	37380	1,99	41242	2,87	47501	2,29	55853	—	56,9	126,5	174,5

Относительно Дортмундскаго водопровода необходимо имѣть въ виду, что число жителей приведено безъ сосѣднихъ угольно-цеховыхъ общинъ, исключенныхъ изъ него въ 1878 г. Въ Кельнѣ отпускъ воды большей частью производится безконтрольно, и только незначительная часть ея отпускается по водомѣрамъ. Въ Галле недавно введены водомѣры, примѣненіе которыхъ повлекло за собой немедленное уменьшеніе расхода. Въ Дуисбургѣ количество воды, отпускаемой по водомѣрамъ, относится ко всему количеству расходуемой воды, какъ 3 : 7, а въ Дюссельдорфѣ какъ 1 : 3. Въ Дрезденѣ отпускъ воды производится исключительно по водомѣрамъ. Въ Штуттгартѣ и Любекѣ число водомѣровъ сравнительно весьма ограничено.

Средній расходъ воды на человѣка въ день въ итальянскихъ городахъ, по Спашаро, выражается слѣдующимъ образомъ въ литрахъ:

Римъ 1890 650	Спеція 1891 157	Туринъ 1890 70
Неаполь 1890 344	Палермо 1890 96,5	Венеція 1890 66
Генуя 1890 344	Флоренція 1890 . . . 86	Болонья 1891 53
Падуя 1891 288	Феррара 1891 70	Катанія 1891 45

Во французскихъ городахъ, по Бешману, расходъ воды на человѣка въ день въ литрахъ выражается слѣдующими цифрами:

Марсель 450	Дижонъ 240	Нантъ 150
Каркассонъ 400	Парижъ 215	Ліонъ 140
Орильякъ 280	Мелюнъ 210	Периго 130
Безансонъ 260	Орлеанъ 200	Тулуза 120
Ажанъ 250	Туръ 190	Арра 115
Байонна 250	Булонь 175	Трой 110
Лиможъ 240	Семюръ 160	

По статистическимъ таблицамъ Гастингса расходъ воды въ литрахъ на человѣка въ день въ различныхъ городахъ Великобританіи въ 1892 выразился слѣдующими цифрами:

Эбердинъ	227	Гамильтонъ	182	Плимутъ	227
Эръ	318	Гулль	136	Пикерингъ	495
Басъ	93	Инвернесъ	204	Ричмондъ	109
Бельфастъ	159	Лимингтонъ	77	Скальби	91
Бостонъ	64	Лейчестеръ	82	Шеффильдъ	91
Бредфордъ	108	Ливерпуль	100	Соутгамптонъ	136
Карлиль	109	Лондонъ:		Сванзи	48
Кардифъ	100	New-River	129	Тунбриджъ	71
Челтенгамъ	68	Юго-зап. и Вокз.	142	Ульверстонъ	136
Дерби	91	Западн. Middlesex	133	Валлеси	136
Глазговъ	227	Манчестеръ	102	Велингбору	36
Глочестеръ	68	Педигемъ	54	Уайтгевенъ	159
Годальмингъ	91	Песли	304	Вольвергамптонъ	86
Галифаксъ	104	Пенистонъ	45		

Средній изъ этихъ расходовъ составляетъ 133 литра на человѣка въ день.

Въ городахъ Бельгіи и Голландіи расходъ сравнительно невеликъ и колеблется въ среднемъ между 5 и 80 литр. на человѣка въ день. Отпускъ воды производится почти исключительно по водомѣрамъ.

Относительно наибольшій расходъ воды замѣчается въ крупныхъ американскихъ городахъ, какъ показано въ слѣдующей таблицѣ, относящейся къ 1890—91 году.

Названіе города.	Численность населенія.	Число разборныхъ кранновъ.	Число жителей на каждый разборный кранъ.	Число водомѣровъ.	Расходъ на человѣка въ день въ литрахъ.
Нью-Іоркъ	1515301	108884	13,9	22072	299
Чикаго	1099850	?	?	3924	530
Филадельфія	1046964	170911	6,1	522	500
Бруклинъ	806343	93225	8,4	2263	273
Сенъ-Луи	451770	38183	11,8	3115	273
Бостонъ	448477	80288	6,6	4018	303
Балтимора	434439	74728	5,8	913	356
Цинцинати	302581	35439	8,5	1451	424
Санъ-Франциско	298997	30200	9,9	12505	231
Кливелендъ	270055	30938	8,7	1794	390
Буффало	255664	40331	6,3	94	704
Питсбургъ	238617	7851	8,2	мало	479
Вашингтонъ	230392	35404	6,5	98	598
Детроитъ	205876	40351	5,1	856	609
Милвоки	204468	18422	11,1	5876	416

Средняя цифра расхода въ данномъ случаѣ составляетъ 426 литр. на человѣка въ день. Можно замѣтить, что наибольшія цифры расхода получаются въ тѣхъ городахъ, въ которыхъ поставлено мало водомѣровъ, и обратно.

Годичныя колебанія расхода. При всѣхъ одинаковыхъ условіяхъ, какъ напр., при неизмѣнномъ числѣ жителей, неизмѣнномъ промышленномъ производствѣ и т. д., общій годовой расходъ воды не остается постоянно одинаковымъ, но измѣняется въ извѣстныхъ предѣлахъ вмѣстѣ съ климатическими колебаніями. Въ дождливые годы, когда источники могутъ доставлять особенно большія количества воды, расходъ достигаетъ своего минимума, а въ сухіе теплые годы онъ по возможности достигаетъ своего максимума. Такимъ образомъ чѣмъ ровнѣе климатъ мѣстности, тѣмъ постояннѣе будетъ цифра годоваго расхода воды и обратно.

Весьма существенное вліяніе на амплитуду колебаній расхода имѣетъ способъ отпуска воды, т. е. отпускается ли она безконтрольно или по водомѣрамъ. Въ весьма холодныя зимы, напр., въ городахъ съ безконтрольнымъ отпускомъ воды, громадныя количества воды истрачиваются тѣмъ, что абоненты оставляютъ краны постоянно открытыми для предупрежденія замерзанія трубопроводовъ. Въ случаѣ отпуска воды по водомѣрамъ подобное постоянное открытіе крановъ встрѣчается гораздо рѣже. Точно также расходъ въ жаркое время года, какъ мы упомянули выше, гораздо значительнѣе при безконтрольномъ отпускѣ воды, нежели при отпускѣ по водомѣрамъ.

Вообще можно констатировать тотъ фактъ, что годовой расходъ воды постепенно повышается до извѣстнаго предѣла, т. е. возростаетъ не въ одинаковомъ отношеніи съ приростомъ населенія. Это увеличеніе расхода обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ, что съ теченіемъ времени населеніе постепенно отказывается отъ удовлетворенія своей потребности помощью раньше примѣнявшихся вспомогательныхъ способовъ, такъ напр., посредствомъ насосныхъ колодцевъ, дождевой воды и проч., и что при легкости разбора въ современныхъ водоснабженіяхъ вода начинаетъ употребляться для различныхъ такихъ цѣлей, для которыхъ она раньше не примѣнялась.

Масштабомъ годичныхъ колебаній расхода служатъ числа, получаемыя отъ раздѣленія общаго годоваго расхода на 365-и кратное число жителей и изображающія собой неразъ упоминавшіяся здѣсь цифры такъ называемаго средняго ежедневнаго расхода на каждаго жителя.

Постепенное увеличеніе средняго ежедневнаго расхода воды въ нѣкоторыхъ городахъ Германіи видно изъ вышеприведенной таблицы. Весьма естественно, что въ первые годы послѣ устройства водоснабженія увеличеніе этихъ цифръ происходитъ гораздо быстрѣе, нежели по истеченіи болѣе длиннаго періода времени, такъ какъ включеніе домовъ въ сѣть водопровода происходитъ постепенно, такъ что нельзя предварительно предполагать, что всѣ жители дѣйствительно будутъ снабжаться водой изъ новаго сооруженія. Опредѣленіе дѣйствительнаго числа жителей, снабжаемыхъ водой, весьма затруднительно и рѣдко приводится въ статистическихъ сообщеніяхъ.

Тимъ путемъ сравненій пришелъ къ тому результату, что при условіяхъ, имѣющихъ мѣсто въ Германіи, колеблющіяся годовыя количества, т. е. положительныя или отрицательныя уклоненія отъ средняго значенія расхода (вызываемыя климатическими колебаніями и т. под.) измѣняются между 2,56 и 17,27 % этого средняго значенія.

Постепенное повышеніе средняго расходуемаго количества на человѣка въ день при нормальномъ своемъ теченіи должно происходить такимъ образомъ, что соотвѣтствующее число должно приближаться къ извѣстному предѣлу, никогда его не достигая. Въ Парижѣ, гдѣ современное водоснабженіе существуетъ уже довольно долгое время, Бешманъ констатировалъ увеличеніе расхода на человѣка въ день съ 67 литр. въ 1861 г. до 103 литр. въ 1866 г., до 122 литр. въ 1872 г., до 140 литр. въ 1876 г. и до 165 литр. въ 1881 г. При нормальныхъ условіяхъ, т. е. когда на фонтаны и т. под. устройства расходуется весьма мало воды, и когда нѣтъ такихъ промышленныхъ заведеній, которыя расходовали бы особенно большія количества воды, въ Германіи можно принять высшій предѣлъ

дневного расхода воды на человѣка въ 120 литр., если только напрасная безполезная трата воды будетъ устранена путемъ водомѣровъ. Во всѣхъ же другихъ случаяхъ—при безконтрольномъ отпускѣ—никакихъ предѣльныхъ чиселъ установить невозможно.

Ежемѣсячныя колебанія расхода. Сравнивая между собой количества воды, расходуемой въ различные мѣсяцы года, мы, разумѣется, получаемъ значительную разницу. Зимой и весной а также и поздней осенью вообще расходуется меньше воды, нежели лѣтомъ; тѣмъ не менѣе суровыя зимы и безконтрольный отпускъ воды могутъ измѣнить эти соотношенія.

Средній ежемѣсячный расходъ составляетъ $\frac{100}{12} = 8{,}33\%$ годоваго расхода. Если выразить расходъ воды въ различные мѣсяцы года въ процентахъ общаго годоваго расхода, то для различныхъ германскихъ городовъ получатся значенія, приведенныя въ слѣдующей таблицѣ

Городъ.	Способъ отпуска воды.	Расходъ въ % годоваго расхода.											
		Апрѣль 1888	Май 1888	Іюнь 1888	Іюль 1888	Августъ 1888	Сент. 1888	Октябрь 1888	Ноябрь 1888	Декабрь 1888	Январь 1889	Февраль 1889	Мартъ 1889
Ахенъ	Водомѣрный.	6,8	7,9	9,8	9,2	9,2	9,0	9,2	7,9	7,5	8,4	7,2	7,9
Дуисбургъ	Смѣшанный.	6,8	8,7	9,2	8,6	8,8	8,6	8,6	7,9	7,9	8,6	7,8	8,5
Эльберфельдъ . . .	Водомѣрный.	6,5	8,1	9,4	9,0	9,1	9,1	8,8	7,9	7,8	9,2	7,3	7,8
Ганноверъ	Смѣшанный.	7,4	8,8	9,6	8,9	9,3	8,9	8,4	8,1	7,8	7,7	7,0	7,9
Страсбургъ	Водомѣрный.	6,7	10,5	10,3	8,9	9,7	8,3	7,5	7,3	7,5	8,2	7,3	7,8
Средній . . .		6,8	8,8	9,7	8,9	9,2	8,8	8,5	7,8	7,7	8,4	7,3	8,0

Цифры этой таблицы показываютъ, что въ поименованныхъ городахъ наибольшій мѣсячный расходъ находится къ среднему мѣсячному расходу (8,33%) въ отношеніи 116 : 100. Тимъ нашелъ, что это отношеніе колеблется между 205 : 100 и 105 : 100; среднее изъ наблюденій Тима даетъ отношеніе наибольшаго расхода къ среднему 129 : 100.

Если назовемъ средній мѣсячный расходъ черезъ *M*, то для городовъ южной Германіи и вообще для мѣстностей съ подобнымъ климатомъ въ теченіе не особенно дождливаго года получимъ слѣдующія среднія значенія мѣсячныхъ расходовъ для отдѣльныхъ мѣсяцевъ года:

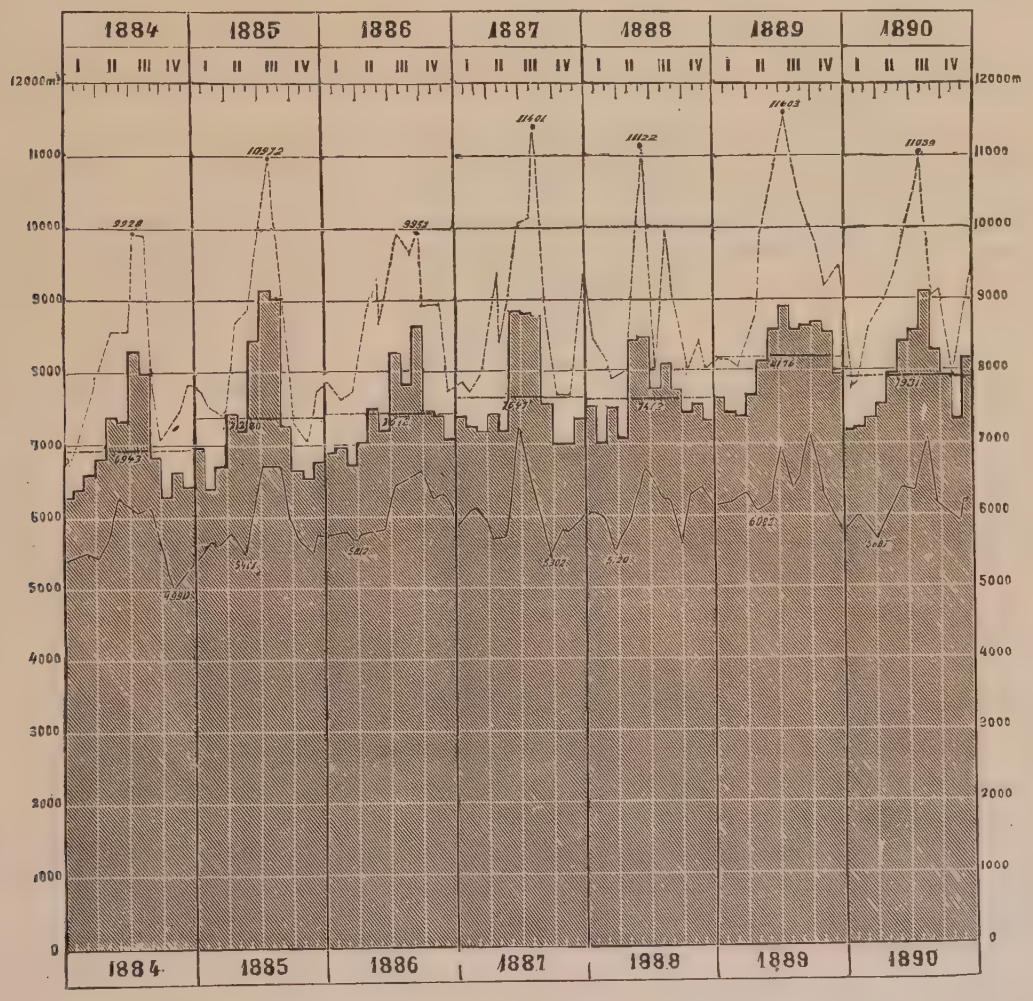
Январь	0,70 *M*.	Май	1,10 *M*.	Сентябрь	1,25 *M*.
Февраль	0,70 *M*	Іюнь	1,25 *M*.	Октябрь	1,15 *M*.
Мартъ	0,80 *M*.	Іюль	1,30 *M*.	Ноябрь	0,85 *M*.
Апрѣль	0,90 *M*.	Августъ	1,30 *M*.	Декабрь	0,70 *M*.

Само собой разумѣется, эти цифры будутъ различны въ разные годы, въ зависимости отъ состоянія погоды въ теченіе года.

Для большей наглядности мы здѣсь приводимъ діаграмму (фиг. 180) среднихъ мѣсячныхъ и дневныхъ расходовъ воды, а также максимумы и минимумы расходовъ для города Базеля въ теченіе 1884—1890 г. (за исключеніемъ расходовъ для двухъ общественныхъ фонтановъ). Средніе мѣсячные расходы показаны сплошными линіями, максимумы и минимумы показаны пунктирами, а средніе годовые расходы штриховымъ пунктиромъ.

Масштабъ этой діаграммы выбранъ такъ, что длина ординаты въ 9,4 милим. соотвѣтствуетъ расходу 1000 куб. метр. воды въ день, а длина абсциссы въ 1,4 милим. соотвѣтствуетъ періоду времени въ 1 мѣсяцъ.

Недѣльныя и дневныя колебанія расхода. Расходъ втеченіе каждаго дня года обыкновенно бываетъ различенъ. Во всѣхъ городскихъ водоснабженіяхъ можно замѣтить, что при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ наибольшій расходъ воды бываетъ по субботамъ, а наименьшій по воскресеньямъ и общимъ для различныхъ вѣроисповѣданій праздникамъ, и что вообще расходъ воды возростаетъ отъ начала недѣли къ концу.



Фиг. 180. Графическое изображеніе расхода воды въ Базелѣ.

Колебанія расхода въ теченіе недѣли представляютъ собой весьма большой интересъ, если возможно устроить резервуаръ для выравниванія этихъ колебаній. Этотъ вопросъ подробнѣе будетъ нами разсмотрѣнъ ниже (см. гл. 6), а нѣкоторыя указанія по этому вопросу приведены нами выше (см. отд. II, гл. 2). По наблюденіямъ, произведеннымъ въ Цюрихѣ, расходъ въ различные дни недѣли относительно средняго дневнаго расхода за недѣлю, принятаго за 1, составляетъ:

Понедѣльн.	Вторникъ.	Среда.	Четвергъ.	Пятница.	Суббота.	Воскрес.
1,04	1,11	1,08	1,08	1,05	1,07	0,57.

Весьма цѣнныя указанія по вопросу о мѣстномъ расходѣ даютъ намъ примѣняемыя почти во всѣхъ водоснабженіяхъ графическія изображенія расхода за каждый день рабочаго года.

Между 365 днями года бываетъ одинъ, втеченіе котораго расходуется воды больше, нежели втеченіе всякаго другого дня; этотъ дневной максимумъ имѣетъ весьма важное значеніе для всякаго водоснабженія, такъ какъ имъ опредѣляется главное расположеніе распредѣленія воды. Между 24 часами дня наибольшаго расхода опять существуетъ одинъ часъ, втеченіе котораго расходъ бываетъ больше, нежели втеченіе каждаго изъ остальныхъ 23 часовъ: расходъ втеченіе этого часа называютъ часовымъ максимумомъ.

Хотя, строго говоря, и въ теченіе часа наибольшаго расхода не происходитъ равномѣрнаго разбора воды, но обыкновенно для проектированія водоснабженія и т. под. цѣлей можно ограничиться этимъ дѣленіемъ времени, принимая, что въ теченіи часоваго максимума расходъ воды происходитъ равномѣрно.

Отношеніе дневнаго максимума или наибольшаго дневнаго расхода къ такъ называемому среднему дневному расходу, получаемому, какъ мы выше замѣтили, отъ раздѣленія годоваго расхода на 365-и кратное число жителей, тоже бываетъ перемѣнное, въ зависимости отъ особыхъ условій снабжаемой мѣстности, но тѣмъ не менѣе это отношеніе уже обнаруживаетъ большее или меньшее приближеніе къ нѣкоторому среднему значенію. Обыкновенно дневной максимумъ имѣетъ мѣсто въ теченіе одного изъ дней лѣта, и въ исключительныхъ только случаяхъ, какъ напр. при сильныхъ морозахъ и безконтрольномъ отпускѣ, онъ приходится зимой. Точно также въ отношеніи часоваго максимума или въ отношеніи расхода въ различные часы дня замѣчается приблизительная параллельность въ водоснабженіяхъ мѣстностей съ одинаковыми жизненными обычаями и привычками населенія.

Отношеніе наибольшаго дневнаго расхода къ среднему дневному въ нижеприведенныхъ городахъ Германіи за 1890—91 г. помѣщено въ слѣдующей таблицѣ

Городъ.	Наибольшій.	Средній.	Отношеніе.	Городъ.	Наибольшій.	Средній.	Отношеніе.
Берлинъ	91	68	1,34	Дуисбургъ	191	149	1,30
Бреславль	104	76	1,37	Галле на З.	114	86	1,33
Магдебургъ	110	89	1,24	Мюльгеймъ на Р.	192	156	1,23
Альшона	117	95	1,23	Карлсруэ въ Бад.	198	105	1,89
Штеттинъ	131	115	1,14	Виттенъ	209	164	1,28
Любекъ	302	200	1,51	Крефельдъ	93	66	1,41
Бременъ	107	73	1,47	Страсбургъ	115	66	1,74
Кенигсбергъ	98	60	1,63	Регенсбургъ	171	134	1,28
Брауншвейгъ	103	69	1,50	Киль	98	76	1,30
Кельнъ	224	169	1,33	Боннъ	158	91	1,74
Эссенъ	180	130	1,38	Дессау	138	90	1,53
Бохумъ	210	165	1,28	Бамбергъ	124	69	1,80
Дрезденъ	125	81	1,54	Канштадтъ	164	99	1,66
Лейпцигъ	123	97	1,25	Клеве	130	84	1,55
Барменъ	161	122	1,32	Базель	153	109	1,40
Эльберфельдъ	132	98	1,35	Фрейбургъ	270	157	1,72
Ганноверъ	171	118	1,45	Висбаденъ	112	75	1,50
Дюссельдорфъ	127	82	1,55	Эйзенахъ	121	82	1,48

Изъ приведенныхъ здѣсь городовъ: въ Берлинѣ, Бреславлѣ, Магдебургѣ, Альтонѣ, Брауншвейгѣ, Бохумѣ, Дрезденѣ, Лейпцигѣ, Эльберфельдѣ, Галле, Мюльгеймѣ, Виттенѣ и Висбаденѣ отпускъ воды производится исключительно по водомѣрамъ. Въ этихъ городахъ отношеніе наибольшаго расхода къ среднему колеблется между 1,54 (Дрезденъ) и 1,23 (Мюльгеймъ), т. е. въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ. Въ остальныхъ городахъ, гдѣ преимущественно производится безконтрольный отпускъ воды, мы видимъ наибольшее отношеніе 1.89 (Карлсруэ) и наименьшее 1.14 (Штеттинъ). Такимъ образомъ безъ большой погрѣшности можно принять отношеніе наибольшаго дневнаго расхода къ среднему въ 1.50.

По сообщенію Тима, основанному на сопоставленіи этихъ чиселъ для 53 городовъ, это отношеніе колеблется между 2.92 (Дессау) и 1.02 (Ростокъ). Взявши среднее изъ приведенныхъ имъ чиселъ, получимъ цифру 1.66. Въ слѣдующей таблицѣ приведены тѣ города, для которыхъ, по Тиму, это отношеніе больше 2.00, при чемъ прибавлены цифры, полученныя въ 1890—91 году.

Численное отношеніе для города.	По Тиму	За 1890/91 г.	Численное отношеніе для города.	По Тиму.	За 1890/91 г.
Дессау	2,92	1,53	Мюнстеръ.	2,10	1,50
Карлсруэ	2,78	1,89	Дюссельдорфъ	2,08	1,55
Крефельдъ	2,48	1,41	Страсбургъ	2,06	1,74
Шарлоттенбургъ	2,43	2,45	Бременъ	2,01	1,47

За исключеніемъ Шарлоттенбурга, гдѣ существуютъ особыя условія, среднее отношеніе приближается къ значенію 1,50; вездѣ эти цифры уменьшились.

Количества расходуемыя втеченіе отдѣльныхъ часовъ дня составляли предметъ наблюденія во многихъ мѣстахъ. Въ общемъ эти наблюденія показали, что въ зависимости отъ температуры и продолжительности дня существуетъ большая разница въ распредѣленіи; тѣмъ не менѣе оказывается, что относительныя колебанія, втеченіе собственно времени расхода, зимой бываютъ постоянно больше, нежели лѣтомъ.

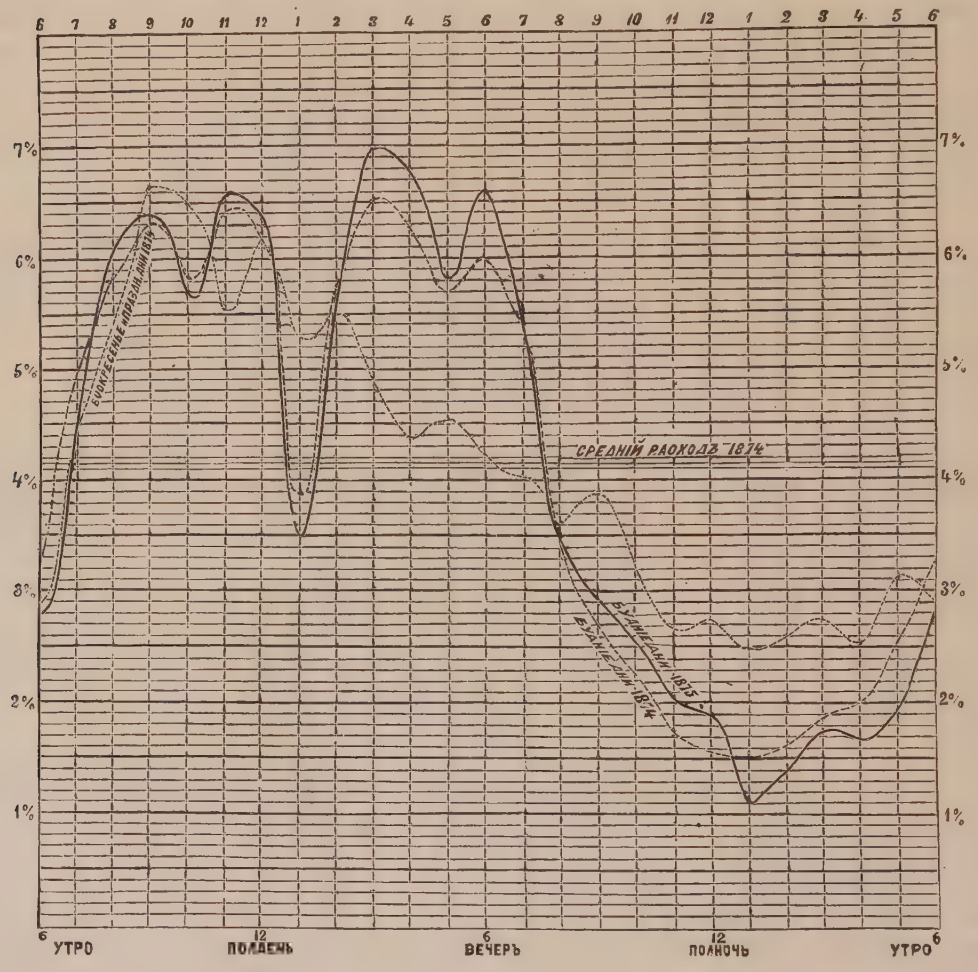
Часовой расходъ, выраженный въ процентахъ дневного расхода, обыкновенно носитъ названіе относительнаго часоваго расхода. Этотъ относительный расходъ (въ городахъ съ нѣмецкими жизненными обычаями) по воскресеньямъ между 2 часами дня и 8 часами вечера бываетъ значительно меньше, а съ этого часа до утра, наоборотъ, больше, нежели въ будніе дни.

На приведенной ниже діаграммѣ (фиг. 181), заимствованной изъ сообщенія Управленія Цюрихскимъ водопроводомъ, графически изображено процентное отношеніе средняго часоваго расхода къ дневному расходу, вычисленное отдѣльно для будничныхъ и праздничныхъ дней.

Расходъ въ теченіи ночи отъ 1 часу ночи до 3—4 часовъ утра по своей абсолютной величинѣ зависитъ отъ свойствъ сѣти и главнымъ образомъ, преимущественно зимой, состоитъ изъ потерь воды или утечки. Путемъ наблюденій можно обнаружить эти потери, почему онѣ въ этомъ отношеніи весьма желательны и полезны. Чѣмъ ближе въ какомъ либо городѣ наименьшій часовой расходъ приближается къ нулевой линіи, тѣмъ исправнѣе въ немъ распредѣлительная водопроводная сѣть, и обратно.

Если черезъ T назовемъ дневной расходъ, то процентное отношеніе p ривномѣрнаго часоваго расхода къ S дневному будетъ:

$$S = \frac{T}{24} = 0{,}041667\ T;\ \text{или}\ p = 4{,}1667\ \%.$$



Фиг. 181.

Въ слѣдующей таблицѣ часовой расходъ въ различные часы дня выраженъ въ процентахъ дневного расхода на основаніи старыхъ, но весьма надежныхъ, наблюденій для различныхъ временъ года и различныхъ, далекихъ другъ отъ друга, городовъ.

Время	Брауншвейгъ			Штеттинъ				Копенгагенъ (средній) 1864 г.	Берлинъ въ іюлѣ (средній) 1864 г.	Цюрихъ *A* — средній *B* — въ день наибольш. расхода	
	1 января 1868 г.	23 іюля 1868 г.	10 сентября 1868 г.	12 января 1868 г.	23 февраля 1868 г.	16 іюля 1868 г.	30 сентября 1868 г.			*A.* 1875 г.	*B.* 1875 г.
утра											
6—7	3,00	5,82	5,27	4,55	4,07	5,41	5,45	6	5,2	4,66	5,14
7—8	3,39	6,19	6,33	4,55	5,52	5,63	5,45	7	6,2	6,09	6,40
8—9	4,92	5,29	5,17	5,44	6,33	6,08	5,45	7	5,1	6,39	6,40

Время	Брауншвейгъ			Штеттинъ				Копенгагенъ (средній) 1864 г.	Берлинъ въ іюлѣ (средній) 1864 г.	Цюрихъ *A* — средній *B* — въ день наибольш. расхода	
	1 января 1868 г.	23 іюля 1868 г.	10 сентября 1868	12 января 1868 г.	23 февраля 1868 г.	16 іюля 1868 г.	30 сентября 1868 г.			*A.* 1875 г.	*B.* 1875 г.
9—10	6,69	5,89	5,63	5,44	7,24	5,63	5,72	7	6,5	5,64	5,50
10—11	5,50	5,93	6,26	6,14	7,24	5,63	5,45	7	6,5	6,57	6,13
11—12	6,23	5,79	5,74	6,59	6,79	5,63	5,72	7	6,2	6,44	6,47
дня											
12—1	6,37	4,99	5,76	5,44	6,79	5,18	5,72	6	4,6	3,53	4,63
1—2	5,07	7,02	5,79	4,55	5,52	5,63	5,72	6	5,1	5,50	5,33
2—3	5,13	5,53	5,48	4,77	4,07	5,63	5,72	6	5,5	6,97	6,56
3—4	4,08	5,57	6,02	5,23	4,07	5,63	5,45	5½	5,5	6,84	6,98
4—5	3,82	5,60	5,95	4,55	4,07	5,63	4,90	5½	5,1	5,82	6,20
5—6	4,40	5,65	6,82	3,64	4,07	5,41	4,90	5½	4,8	6,62	6,40
6—7	4,75	5,07	6,12	3,64	3,62	4,51	4,63	5	5,3	5,39	4,52
7—8	3,94	4,12	4,46	3,64	3,62	4,51	3,82	4	5,1	3,46	2,97
8—9	4,05	3,36	2,55	3,64	3,17	3,15	3,54	2	4,6	2,94	2,62
9—10	3,10	2,60	2,12	3,18	3,17	3,15	3,27	2	3,7	2,59	2,35
10—11	3,82	2,45	1,78					2	2,4	2,04	1,62
11—12	2,69	2,00	1,78					1	1,8	1,91	1,20
ночи											
12—1	2,84	1,54	1,71					1	1,0	1,13	0,49
1—2	3,24	1,40	1,58	25,00	20,81	17,57	19,08	1	1,2	1,40	2,89
2—3	3,13	1,27	1,57					1	1,3	1,75	3,07
3—4	2,87	1,99	1,66					1	1,5	1,67	1,54
4—5	3,33	2,04	1,91					1	2,3	1,88	1,81
5—6	3,36	2,77	2,52					2½	3,5	2,83	2,80
	99,72	99,88	99,98	99,99	100,17	100,00	99,99	100,00	100,00	100,06	100,02

Изъ этой таблицы ясно видно, что зимой (въ январѣ и февралѣ) относительный расходъ ночью бываетъ значительно больше, нежели лѣтомъ и осенью.

Но такъ какъ зимой соотвѣтствующій дневной расходъ бываетъ меньше, то абсолютная величина ночного расхода можетъ тѣмъ болѣе оказаться постоянной, какъ это всегда и имѣетъ мѣсто въ періодъ времени отъ 1 часу ночи до 4 час. утра, въ теченіи котораго причиной расхода служатъ главнымъ образомъ неплотности въ распредѣлительной сѣти.

Новыя наблюденія надъ относительнымъ расходомъ въ различные часы дня сообщены Тимомъ; но эти наблюденія, къ сожалѣнію, распространились только на дни наибольшаго

расхода, которые во всѣхъ приведенныхъ городахъ выпадаютъ на лѣто. Въ прилагаемыхъ таблицахъ мы приводимъ данныя, касающіяся Берлина, Бреславля, Лейпцига и Дрездена, причемъ считаемъ нелишнимъ замѣтить, что подъ названіемъ „колеблющагося дневного количества“ слѣдуетъ разумѣть тотъ остатокъ, который получается отъ вычитанія средняго процентнаго расхода (4,1667) изъ дѣйствительнаго процентнаго часоваго расхода, который бываетъ больше 4,1667%. Такъ, напр., для Берлина за 22 августа 1879 года колеблющееся дневное количество составляетъ: $5{,}28 + 5{,}25 + 6{,}00 + 6{,}31 + 5{,}95 + 6{,}04 + 5{,}83 + 5{,}77 + 5{,}48 + + 5{,}55 + 5{,}16 + 5{,}18 + 5{,}04 + 4{,}69 - 14 \cdot 4{,}1667 = 19{,}20$.

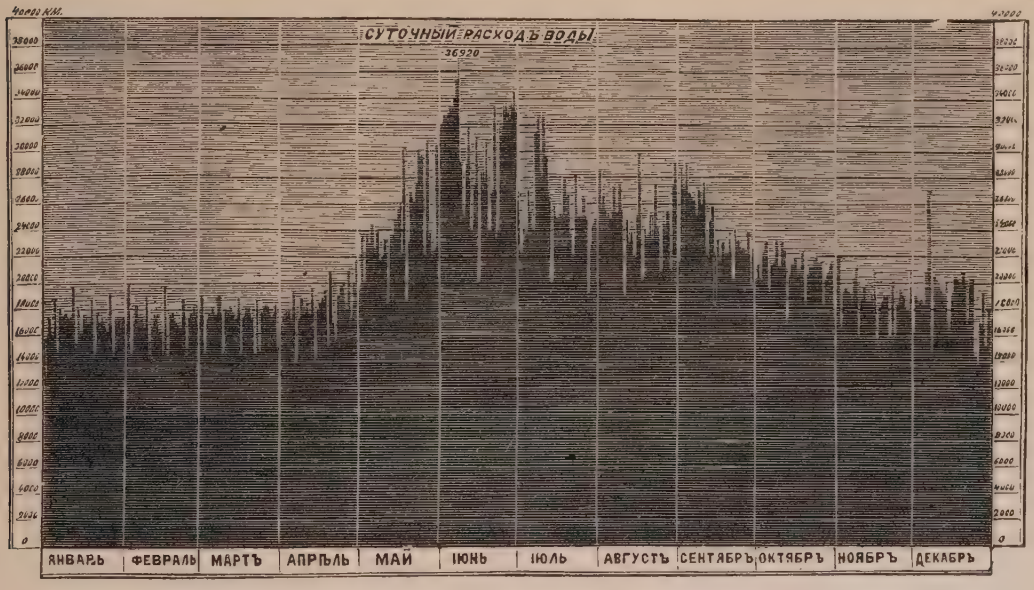
Названіе города			Берлинъ		Бреславль	Лейпцигъ	Дрезденъ		
Число			22 авг. 1879 г.	15 іюля 1882 г.	6 іюля 1883 г.	16 іюля 1880 г.	20 іюля 1881 г.	20 іюля 1882 г.	7 іюня 1883 г.
Дневной расходъ (наибольшій)			$Q = 66071$	$Q = 82010$	$Q = 28502$	$Q = 16143$	$Q = 27112$	$Q = 26700$	$Q = 29300$
Ночи	12—1	час.	1,85—	1,37—	1,40—	—	1,48—	1,31—	2,05—
„	1—2	„	1,79—	1,42—	1,78—	—	1,11—	1,31—	1,37—
„	2—3	„	1,80—	1,38—	1,67—	—	0,74—	0,94—	1,37—
„	3—4	„	1,78—	1,78—	1,52—	—	1,11—	0,94—	1,37—
„	4—5	„	1,83—	2,31—	2,16—	—	1,48—	1,12—	1,71—
„	5—6	„	2,75—	2,88—	3,86—	—	2,21—	2,62—	2,05—
утра	6—7	„	—5,28	—4,51	—5,17	—5,05	—5,17	—4,49	—4,78
„	7—8	„	—5,25	—5,40	—5,60	—5,60	—4,43	—4,49	—4,78
„	8—9	„	—6,00	—5,80	—5,55	—5,40	—5,17	—5,24	—5,46
„	9—10	„	—6,31	—6,13	—5,42	—6,25	—5,17	—4,87	—5,12
„	10—11	„	—5,95	—6,23	—5,53	—5,04	—5,54	—5,99	—5,46
„	11—12	„	—6,04	—6,19	—5,77	—5,01	—5,90	—4,87	—5,12
дня	12—1	„	—5,83	—5,53	—5,22	—4,86	—6,27	—5,24	—4,44
„	1—2	„	—5,77	—5,50	—5,53	—5,69	—5,90	—5,24	—5,12
„	2—3	„	—5,48	—5,48	—5,81	—5,37	—5,17	—6,74	—5,46
„	3—4	„	—5,55	—5,51	—5,50	—5,51	—5,90	—6,37	—6,14
„	4—5	„	—5,16	—5,51	—5,19	—5,07	—5,90	—5,99	—5,46
„	5—6	„	—5,18	—5,57	—5,35	—5,51	—6,64	—7,12	—6,14
вечера	6—7	„	—5,04	—5,14	—5,18	—5,51	—6,64	—7,12	—6,83
„	7—8	„	—4,69	—4,61	—4,98	—4,56	—5,54	—5,62	—5,46
„	8—9	„	3,59—	—4,17	4,10—	—4,42	—5,17	—4,87	—4,78
„	9—10	„	2,93—	3,36—	3,17—	3,90—	3,69—	3,75—	4,09—
„	10—11	„	2,38—	2,48—	2,37—	2,96—	2,21—	2,25—	2,73—
„	11—12	„	1,76—	1,73—	2,19—	1,93—	1,48—	1,50—	2,73—
ночи	12—1	„	—	—	—	1,98—	—	—	—
„	1—2	„	—	—	—	1,76—	—	—	—
„	2—3	„	—	—	—	1,72—	—	—	—
„	3—4	„	—	—	—	2,04—	—	—	—
„	4—5	„	—	—	—	2,32—	—	—	—
„	5—6	„	—	—	—	2,55—	—	—	—
Колеблющееся дневное колич. въ % дневного расхода.			19,20	18,79	17,47	16,35	22,01	21,76	18,03
Наибольшій процентный расходъ, дѣленный на 4,1667.			1,51	1,50	1,40	1,50	1,57	1,71	1,64

Изъ этой таблицы видно, что отношеніе наибольшаго годового расхода къ среднему можетъ быть принято приблизительно = 1,50.

Этимъ мы и закончимъ рядъ статистическихъ данныхъ; болѣе подробныя свѣдѣнія по этому вопросу желающіе могутъ найти въ спеціальной литературѣ этого предмета. Необходимо здѣсь замѣтить, что графическое изображеніе всѣхъ этихъ данныхъ значительно облегчаетъ пользованіе ими.

Эти діаграммы обыкновенно строятся такъ, что ординаты означаютъ расходъ за каждый день отчетнаго года, а слѣд. между отдѣльными ординатами имѣется 365 промежутковъ. Имѣя подобную діаграмму, можно опредѣлить средній годовой, мѣсячный, недѣльный и дневной отпускъ воды, а также наибольшій расходъ и т. д. Приведенная здѣсь діаграмма (фиг. 182) изображаетъ результаты дѣйствія Дрезденскаго водопровода за 1882 годъ.

Иногда на подобныхъ діаграммахъ показывается также расходъ угля, количество атмосферныхъ осадковъ и проч.



Фиг. 182.

Результаты. Чѣмъ больше какой-либо городъ и чѣмъ болѣе распространено въ немъ пользованіе водоснабженіемъ, тѣмъ вѣрнѣе можетъ быть опредѣленъ средній годовой расходъ. Результаты дѣйствія водоснабженій такихъ городовъ, въ которыхъ не существуетъ общаго водоснабженія (т. е. въ которыхъ оно не составляетъ единственнаго способа снабженія, а дополняется существующими въ немъ побочными сооруженіями, насосными колодцами и проч.), при опредѣленіи потребности въ водѣ должны быть приняты во вниманіе съ большой осторожностью, преимущественно при ненормальныхъ данныхъ. Во всѣхъ водоснабженіяхъ съ естественнымъ напоромъ данныя относительно собственно расхода вообще менѣе надежны, нежели данныя водоснабженій съ искусственнымъ подъемомъ воды; относительная неточность достигаетъ своего максимума въ мѣстностяхъ съ безконтрольнымъ отпускомъ воды и бываетъ меньше тамъ, гдѣ отпускъ воды производится по водомѣрамъ

Намъ извѣстны нѣкоторыя такъ называемыя ключевыя водоснабженія, въ которыхъ существующій притокъ временами настолько малъ, что напорная труба не вполнѣ заполнена водой, вслѣдствіе чего напоръ въ сѣти оказывается недостаточнымъ для снабженія водой верхнихъ этажей домовъ. Въ подобныхъ случаяхъ жители этихъ этажей получаютъ воду для своихъ надобностей въ нижнихъ или подвальныхъ этажахъ, а это обстоятельство, конечно, въ сильной степени уменьшаетъ цифру средняго расхода. Данныя, полученныя отъ такихъ не вполнѣ снабженныхъ водой жилищъ, естественно, не могутъ служить какимъ-либо указателемъ расхода. Въ городахъ съ водоснабженіемъ водой сомнительныхъ качествъ расходъ временами выходитъ черезмѣрно малъ, между тѣмъ какъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ въ случаѣ снабженія хорошей свѣжей ключевой (грунтовой) водой въ достаточномъ количествѣ этотъ расходъ временами можетъ быть чрезвычайно зничителенъ. На это обстоятельство необходимо обратить вниманіе при опредѣленіи расхода.

Наконецъ величина фактическаго расхода воды зависитъ также и отъ того, составляетъ ли водопроводъ собственность города или какой-нибудь концессіоной компаніи. Въ послѣднемъ случаѣ такъ называемый общественный расходъ обыкновенно весьма замѣтно уменьшается, между тѣмъ какъ въ первомъ случаѣ этотъ расходъ очень великъ, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже черезмѣренъ.

Такимъ образомъ отдѣльныя обстоятельства обусловливаютъ собой особыя соображенія, которыя вообще невозможно выразить общими числами.

Тѣмъ не менѣе опытъ показываетъ, что тамъ, гдѣ дѣло идетъ не о черезмѣрно большомъ расходѣ на предметы роскоши, а о достаточномъ удовлетвореніи потребности въ водѣ населенія средней зажиточности, во всякомъ случаѣ можно найти нѣкоторыя нормальныя числа, могущія служить указаніемъ приблизительно правильнаго пути.

Изъ сравненія многочисленныхъ водоснабженій можно придти къ тому заключенію, что въ мѣстностяхъ съ климатомъ, не много отличающимся отъ среднеевропейскаго, и съ постояннымъ водоснабженіемъ при отпускѣ воды по водомѣрамъ и безъ ненормальныхъ потребностей въ водѣ для промышленныхъ цѣлей, количество воды для достаточнаго водоснабженія можетъ быть принято въ 100 до 200 литр. на человѣка въ день. Наибольшее количество доставляемой воды при подобныхъ условіяхъ можетъ быть принято въ полтора раза больше средняго количества доставляемой воды, при чемъ въ день наибольшаго расхода часовой максимумъ можетъ быть принятъ приблизительно въ полтора раза больше средняго часоваго расхода.

Если при этихъ предположеніяхъ обозначимъ:

черезъ Z — число жителей снабжаемой области;

V — общее расходуемое въ годъ количество воды въ литрахъ;

T_m — средній расходъ воды въ литрахъ на человѣка въ день;

T_{max} — наибольшій дневной расходъ на человѣка въ литрахъ,

то получаются слѣдующія зависимости:

4) $V = Z \,.\, T_m \,.\, 365$; 5) $T_{max} = 1{,}50 \,.\, T_m$.

При $T_m = 100$ получаемъ

4a) $V = 36500 \,.\, Z$, 5a) $T_{max} = 150$,

а при $T_m = 120$ получаемъ:

4b) $V = 43800\ Z$; 5b) $T_{max} = 180$.

Приводя цифры къ расходу въ 1 секунду и принимая наибольшій часовой расходъ въ день наибольшаго дневного расхода въ 1,5 раза больше средняго часового расхода, получаемъ наибольшее количество воды Q_{max}, требуемое снабжаемой мѣстностью въ секунду въ литрахъ: при $T_{max} = 150$

$$6a)\quad Q_{max} = \frac{1{,}5 \cdot 150 \cdot Z}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 0{,}0026 \cdot Z,$$

а при $T_{max} = 180$

$$6b)\quad Q_{max} = \frac{1{,}5 \cdot 180 \cdot Z}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 0{,}0034 \cdot Z.$$

Въ тѣхъ случаяхъ, когда водопроводная сѣть снабжена резервуаромъ, уравнивающимъ колебанія расхода въ теченіи дня (см. гл. 6), это наибольшее секундное количество воды на половину должно быть доставлено резервуаромъ и на половину источникомъ добыванія воды. Въ случаѣ отсутствія резервуара все количество Q_{max} должно доставляться главной проводной трубой. Если емкость резервуара меньше потребной для уравниванія колебаній расхода въ теченіи дня (см. ниже, гл. 6 и отд. II, гл. 1), то источникъ долженъ доставлять количество воды большее половины и меньшее всего количества, опредѣляемаго по формулѣ 6a) и 6b). Мы еще вернемся къ этому предмету ниже.

Для случая отпуска воды безъ водомѣровъ общія цифры расхода приводить немыслимо. Если вопросъ касается водоснабженія небольшихъ областей (небольшихъ городовъ, селъ и проч.) при взаимномъ наблюденіи самыхъ потребителей, то могутъ быть примѣнены цифры расхода, приведенныя выше для мѣстностей Rauhe Alb. Въ большихъ же городахъ взаимнаго наблюденія не существуетъ, и расходъ предоставленъ чувству законности потребителей: здѣсь при безконтрольномъ отпускѣ расходъ достигаетъ невообразимой величины. Наоборотъ при переходѣ отъ безконтрольнаго отпуска къ отпуску по водомѣрамъ тотчасъ же замѣчается уменьшеніе расхода, какъ это показали примѣры нѣкоторыхъ городовъ Германіи, какъ напр. Магдебургъ, Галле и др. и какъ это ясно видно преимущественно изъ наблюденій, сдѣланныхъ въ разныхъ городахъ Америки. Опытъ показываетъ, что причина этого уменьшенія кроется въ уменьшеніи расхода воды несостоятельной частью населенія. Поэтому съ гигіенической точки зрѣнія безконтрольный отпускъ воды, гдѣ только онъ возможенъ, имѣетъ преимущество предъ отпускомъ ея по водомѣрамъ

2. Достиженіе необходимаго напора воды въ снабжаемой области.

Водопроводный напоръ. Высота напора, требуемая въ распредѣлительныхъ трубопроводахъ и у главныхъ распредѣлительныхъ пунктовъ, обусловливается цѣлью, которой должно удовлетворять водоснабженіе. Безъ подробнаго разсмотрѣнія потребностей условій снабжбемой мѣстности невозможно установить какія-либо опредѣленныя числа, и поэтому весьма неправильно будетъ безусловно принять цифры, почему либо повсемѣстно употребляемыя въ какой нибудь опредѣленной мѣстности.

Наибольшихъ напоровъ требуетъ водопроводная сѣть, служащая для отпуска воды для дѣйствія моторовъ, подъемниковъ, прессовъ и вообще для промышленныхъ цѣлей. Подобныя сооруженія встрѣчаются очень часто (преимущественно въ обильныхъ водой мѣстностяхъ) и большей частью работаютъ съ такой водой, которая по своимъ качествамъ гораздо ниже воды, служащей для домашняго

водоснабженія. Напоры въ сѣтяхъ иногда достигаютъ до 50 и 60 атмосферъ. Подобные примѣры встрѣчаются во многихъ мѣстностяхъ, преимущественно въ Англіи и Америкѣ. Подобный напорный трубопроводъ находится во Франкфуртѣ на Майнѣ для тамошняго центральнаго вокзала. Цюрихъ и Женева доставляютъ воду подъ высокимъ напоромъ для мѣстной промышленности и проч.

Для городскаго водоснабженія, при которомъ обыкновенно вода для домашняго употребленія и рабочая вода для промышленныхъ цѣлей и проч. отпускается изъ однихъ и тѣхъ же распредѣлительныхъ трубопроводовъ, необходимо раньше всего опредѣлить наименьшій требуемый напоръ.

При опредѣленіи наименьшей высоты напора для обыкновенныхъ городскихъ водоснабженій необходимо прежде всего удовлетворить тому условію, чтобы всѣ находящіеся въ предѣлахъ снабжаемой области дома были снабжены свободно вытекающей водой во всѣхъ своихъ этажахъ. Для удовлетворенія этому условію Тимъ признаетъ достаточной высоту напора отъ 18 до 20 метр. выше мостовой. Эту высоту напора онъ называетъ обыкновеннымъ или городскимъ водопроводнымъ напоромъ.

Если отъ водопровода требуется, чтобы распредѣлительная сѣть давала-воду въ гидранты для тушенія пожаровъ непосредственной струей, то потребный для этой цѣли или противопожарный напоръ этотъ авторъ опредѣляетъ слѣдующимъ образомъ:

Среднее разстояніе между двумя сосѣдними пожарными кранами принимаютъ не больше 100 метр. Городской пожарный насосъ выбрасываетъ отъ 300 до 400 литр. воды въ минуту и гидрантъ долженъ давать столько-же; примемъ это количество въ 6 литр. въ секунду. Высота главнаго карниза дома надъ мостовой составляетъ около 15 метр. Если домъ расположенъ по срединѣ между двумя гидрантами, то для достиженія верхняго карниза требуется длина рукава $50 + 15 = 65$ метр. Резиновые рукава съ проволочными спиралями внутр. діам. 60 милим. допускаютъ выпускъ гидрантомъ 6 литр. въ секунду съ сопротивленіемъ тренія въ 0,1 метр. на 1 пог. метръ длины рукава, такъ что сопротивленіе тренія въ рукавѣ составитъ 6,5 до 7 метр. высоты напора. Если затѣмъ принять, что въ концѣ рукава непосредственно предъ мундштукомъ вода двигается со скоростью, соотвѣтствующей высотѣ напора 8 метр., то при правильно выбранной формѣ мундштука можно получить свободную струю, подымающуюся до высоты 7 метр. надъ главнымъ карнизомъ. Отсюда получаемъ:

Высота дома до карниза	15,0 метр.
Треніе въ рукавѣ	7,0 „
Высота напора у карниза	8,0 „
Вся потребная высота напора	30,0 метр.

Само собой разумѣется, что приведенныя здѣсь числа не подходятъ ко всѣмъ случаямъ. Такъ, напр., въ небольшихъ городахъ и селахъ дома высотой 15 метр. отъ мостовой составляютъ рѣдкость, между тѣмъ какъ въ различныхъ городахъ строятся дома высотой 25 метр. и болѣе. Въ американскихъ городахъ высота домовъ превышаетъ и этотъ предѣлъ; поэтому тамъ только въ исключительныхъ случаяхъ можно встрѣтить высоту напора меньше 50 метр.

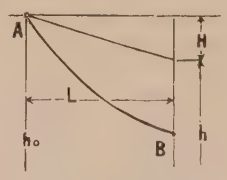
Ниже (см. гл. 9) мы подробнѣе разсмотримъ способы, примѣняемые для вычисленія наименьшей высоты напора. Здѣсь же считаемъ нелишнимъ еще разъ указать, что принятіе общихъ цифръ безъ тщательнаго взвѣшиванія условій для каждаго отдѣльнаго случая можетъ повлечь за собой весьма крупныя погрѣшности.

Выборъ устройства проводовъ. Опредѣленной по общему расположенію наименьшей высоты напора придерживаются лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда установленіе болѣе высокихъ напоровъ сопряжено съ особыми расходами, какъ это имѣетъ мѣсто напр., при насосахъ. Наоборотъ при водопроводахъ съ естественнымъ напоромъ при достаточныхъ количествахъ воды и благопріятныхъ условіяхъ высоты снабжаемой мѣстности иногда оказывается выгоднымъ получать напоръ превышающій этотъ наименьшій предѣлъ при сравнительно незначительной излишней затратѣ или даже безо всякихъ излишнихъ затратъ. При правильномъ устройствѣ сѣти подобное увеличеніе напора не сопряжено ни съ

какой опасностью, а польза сильнаго напора для тушенія пожаровъ—непосредственное введеніе гидрантовъ и для промышленныхъ примѣненій воды, а также и достигаемое уменьшеніе внутреннихъ діаметровъ всѣхъ трубопроводовъ (ср. гл. 8) почти безъ исключенія окупаются нѣсколько излишнею стоимостью устройства вслѣдствіе увеличенія толщины стѣнокъ трубопровода и проч. Само собой разумѣется, условія должны быть таковы, чтобы путемъ вычисленія и сравненія очевидно обнаружились экономическія и административныя выгоды увеличенія напора.

Въ нѣкоторыхъ водоснабженіяхъ вслѣдствіе различныхъ причинъ встрѣчается какъ разъ обратное стремленіе: уменьшеніе напора въ трубопроводахъ (помощью регуляторовъ напора). Подобная мѣра можетъ быть оправдана въ исключительныхъ только случаяхъ, какъ напр., если существующая сѣть небольшого сопротивленія должна быть соединена съ сѣтью подъ высокимъ напоромъ, или въ случаѣ выгоднаго примѣненія силы большого напора безъ нарушенія правильнаго дѣйствія остального водоснабженія. Въ общемъ мы рѣшительно предостерегаемъ противъ уменьшенія напора.

Если A (фиг. 183) представляетъ собой начальную или выходную точку водопровода съ высотой надъ уровнемъ моря h_o, и B—главный распредѣлительный пунктъ водоснабженія, гдѣ вода должна подыматься по меньшей мѣрѣ до высоты H надъ уровнемъ моря, то проводъ воды можетъ произойти двоякимъ путемъ: по открытымъ и закрытымъ проводамъ.



Фиг. 183.

Въ первомъ случаѣ, обозначивъ черезъ:

F — поперечное сѣченіе воды въ проводѣ (живое сѣченіе),
r — средній радіусъ профили (гидравлическій),
α — паденіе на единицу длины,
L — длину провода,
Q — количество доставляемой воды

и пренебрегая побочными сопротивленіями, на основаніи законовъ гидравлики получимъ:

$$H = \alpha L \quad Q = F k \sqrt{r \alpha}$$ (см. отд. IV, гл. 8)

откуда слѣдуетъ

$$1)\ H = \frac{Q^2 L}{F^2 k^2 r}.$$

Для закрытаго провода при тѣхъ же предположеніяхъ имѣемъ формулу (отд. IV, гл. 15).

$$2)\ H = \frac{\lambda Q^2 L}{D^5}.$$

Изъ формулы 2) видно, что въ закрытомъ трубопроводѣ относительное вліяніе діаметра гораздо значительнѣе, нежели вліяніе длины L и потери напора H. Поэтому съ экономической точки зрѣнія при данной потерѣ напора и длинномъ проводѣ будетъ весьма ошибочно тратить много денегъ на увеличеніе напора или на уменьшеніе длины; главную роль играетъ діаметръ трубопровода. По тѣмъ же причинамъ отъ слишкомъ большой потери напора нельзя ожидать особыхъ послѣдствій въ смыслѣ уменьшенія расхода на устройство провода. Такъ какъ стоимость трубопровода пропорціональна діаметру и можетъ быть принята.

$$3)\ k = D\,a = a \sqrt[5]{\frac{\lambda\, Q^2 L}{H}},$$

то очевидно, что для двойной потери напора $= 2H$ она будетъ

$$k'\ a\ \sqrt[5]{0{,}5} \sqrt[5]{\frac{\lambda\ Q^2\ a}{H}} = 0{,}87\ k,$$

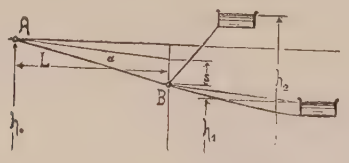
и только при 32-хъ-кратной потерѣ напора она сдѣлается $= 0{,}50\ k$.

Все сказанное здѣсь о закрытомъ трубопроводѣ въ этомъ отношеніи справедливо также и для открытаго провода въ еще большей степени, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ стоимость гораздо медленнѣе возрастаетъ съ увеличеніемъ водяного поперечнаго сѣченія.

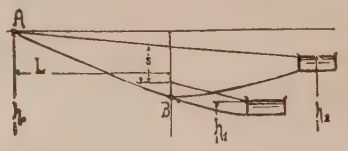
Обыкновенно въ B получается напоръ, большій H, уже вслѣдствіе тѣхъ обстоятельствъ, что при разсчетѣ діаметра трубопровода принимается въ соображеніе будущее осажденіе внутри трубы осадковъ и болѣе значительная шероховатость смоченной поверхности, а также и вслѣдствіе того, что опредѣленный вычисленіемъ размѣръ обыкновенно долженъ быть приведенъ къ существующему въ продажѣ (въ случаѣ трубъ) или къ наиболѣе удобному для устройства (въ случаѣ открытыхъ каналовъ).

Приведенныя разсужденія во всякомъ случаѣ нѣсколько ограничиваются ввиду существованія допопускаемыхъ наибольшихъ и наименьшихъ скоростей воды въ проводахъ, къ которымъ мы вернемся ниже (см. гл. 4). Здѣсь же въ этомъ отношеніи можемъ замѣтить, что въ закрытыхъ чугунныхъ трубопроводахъ слѣдуетъ избѣгать скоростей воды выше 2 метр. и ниже 0,4 метр. въ секунду; при открытыхъ трубопроводахъ весьма важное значеніе для допускаемой наибольшей скорости имѣетъ свойство мокраго периметра или соотвѣтственно строительный матеріалъ самого желоба, между тѣмъ какъ наименьшая скорость можетъ быть уменьшена до 0,3 метр.

Если величина $H = h_0 - L$, такъ велика, что вычисляемая по ней скорость превышаетъ упомянутый предѣлъ допускаемыхъ скоростей, то безусловно слѣдуетъ увеличить величину H, т. е. существующій въ трубопроводѣ напоръ, если этому не препятствуютъ какія-либо особыя основанія, какъ упомянуто выше. Если же желаютъ увеличить высоту напора не во всей распредѣлительной сѣти, а только въ нѣкоторой части его, какъ напр. въ выше расположенномъ поясѣ — то при большой величинѣ L выгодно у главнаго распредѣлительнаго пункта или впереди его раздѣлить проводъ на двѣ части. Для этой цѣли можно, какъ показано на фиг. 185, излишнюю высоту напора для нижняго напорнаго пояса израсходовать сопротивленіемъ расположеннаго при B створнаго крана или же, какъ показано на фиг. 184, помощью введеннаго при B и дѣйствующаго подъ напоромъ s мотора поднимать часть доставляемой воды въ резервуаръ высокаго напора, при чемъ въ



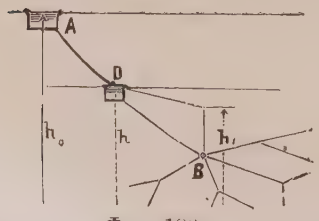
Фиг. 184.



Фиг. 185.

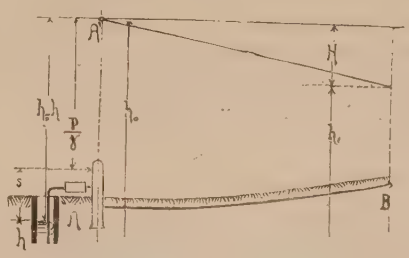
послѣднемъ случаѣ величина h_2 можетъ быть $> h_1$. Рабочая вода мотора служитъ тогда для питанія резервуара низкаго давленія. Экономическая выгода того или другого способа зависитъ отъ особыхъ условій въ каждомъ данномъ случаѣ; въ большей части случаевъ гораздо выгоднѣе употреблять излишнюю высоту напора для какой-нибудь работы, нежели израсходовать ее на преодолѣніе сопротивленія помощью такъ называемаго регулятора давленія.

Введеніе мотора будетъ невозможно, или по меньшей мѣрѣ непрактично, въ томъ случаѣ, когда резервуаръ расположенъ передъ проводомъ къ распредѣлительной сѣти, т. е. когда скорость въ проводной трубѣ мѣняется и временами даже бываетъ равна нулю. Въ этомъ случаѣ идущій отъ A къ D проводъ (фиг. 186) пропускаетъ не постоянное, а перемѣнное количество воды, вслѣдствіе чего для необходимаго по временамъ уменьшенія напора въ D нѐ можетъ быть введенъ моторъ, а только регуляторъ напора. Послѣдній долженъ удовлетворять той цѣли, чтобы изъ резервуара A черезъ верхній проводъ $A\ D$ во всякое время проходило такое количество воды, которое соотвѣтствуетъ расходу по нижнему проводу DB. Для этой цѣли въ D располагается небольшой резервуаръ, снабженный кранами съ поплавками. Соотвѣтствующее устройство выяснится изъ нижеприведеннаго примѣра (см. гл. 6).



Фиг. 186.

Если источникъ A воды (фиг. 187), служащей для водоснабженія, не расположенъ на высотѣ A', достаточной для непосредственнаго провода воды подъ естественнымъ напоромъ, то вода предварительно должна быть искусственно поднята на эту высоту. Этотъ подъемъ воды производится помощью такъ называемыхъ водоподъемныхъ приспособленій.



Фиг. 187.

Въ подобномъ случаѣ подъемъ воды вызываетъ собой расходъ, который будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше высота H, или чѣмъ выше точка A' расположена надъ мѣстомъ добыванія воды A (фиг. 187). Величину $L_o - h$ обыкновенно называютъ теоретической высотой поднятія *), для измѣренія которой опредѣляютъ высоту s отъ уровня воды въ напорномъ воздушномъ котлѣ насоса (или отъ расположеннаго непосредственно за насосомъ манометра) до пониженнаго уровня всасыванія и къ ней прибавляютъ показываемое манометромъ давленіе P (превышеніе напора), приведенное къ высотѣ водяного столба $\frac{p}{\gamma}$ (см. отд. IV, гл. 6), такъ что получается уравненіе

$$4)\quad H_o - h = s + \frac{p}{\gamma} = H + h_1 - h.$$

Такимъ образомъ (при безпрерывномъ подъемѣ) у мѣста B создаются такія же условія, какъ и при водопроводѣ подъ естественнымъ напоромъ, выходящимъ изъ мѣста A'.

Относительно величины $\frac{p}{\gamma}$ или соотвѣтственно H, существуетъ нѣкоторый, произволъ. Но тѣмъ не менѣе потеря напора H должна быть такова, чтобы образуемая ею скорость составляла бы по меньшей мѣрѣ 0,4 метр. въ секунду (ср. гл. 4). При увеличеніи высоты напора $\frac{p}{\gamma}$ увеличивается и величина H, и данное количество воды Q можетъ быть проведено къ B по трубѣ съ меньшимъ діаметромъ; при уменьшеніи этой величины для провода того же количества воды Q требуется большихъ размѣровъ трубопроводъ. Такимъ образомъ въ зависимости отъ рода двигателя, двигательной силы и проч. въ каждомъ данномъ случаѣ должно существовать извѣстное наиболѣе благопріятное условіе, при которомъ расходы на дѣйствіе двигателя, уходъ и содержаніе, а также на проценты и погашеніе капитала, затраченнаго на водоподъемныя приспособленія достигаютъ своего минимума. Опредѣливши это условіе, можно затѣмъ опредѣлить величину H и соотвѣтственно h_o.

Прежде всего считаемъ не лишнимъ здѣсь замѣтить, что производительность машинъ должна соотвѣтствовать наибольшему ежедневному расходу, имѣющему мѣсто вътеченіе n часовъ. Въ остальные дни года нижеопредѣляемое наивыгоднѣйшее условіе достигается тѣмъ, что машины работаютъ болѣе короткое время, но съ той же производительностью въ секунду.

*) Сопротивленія при движеніи воды по всасывающему проводу и самому насосу, а также и всѣ потери напора, происходящія отъ мѣста всасыванія до воздушнаго котла, не приняты здѣсь въ разсчетъ. Онѣ опредѣляются по показаніямъ вакуметра, діаграмѣ насоса и т. д.

Въ этомъ случаѣ разсчетъ получается совершенно точный; въ другихъ же случаяхъ можно достигнуть только приблизительно вѣрнаго результата, принимая средній расходъ соотвѣтствующимъ даннымъ условіямъ.

Если обозначимъ число жителей черезъ Z, а наибольшій ежедневный расходъ на каждаго жителя въ литрахъ (или килограммахъ) черезъ T_{max}, то наибольшій дневной расходъ при водоснабженіи населенныхъ мѣстъ составляетъ $W = Z . T_{max}$. Если водоподъемное сооруженіе или машина въ этотъ день работаетъ n часовъ при теоретической высотѣ подъема по ур. 4) $= H + h_1 - h$, то полезная работа въ лошад. силахъ, которую машина должна развивать при равномѣрномъ подыманіи воды, будетъ:

$$5)\ N = \frac{W(H+h_1-h)}{3600 . 75\ n.}$$

Потеря силы въ двигателѣ, всасывающемъ трубопроводѣ, въ насосахъ и проч. разсматривается здѣсь, какъ вредное сопротивленіе, т. е. предполагается независимымъ отъ діаметра напорнаго трубопровода, что, хотя не совсѣмъ точно, можетъ считаться правильнымъ.

Если черезъ a обозначимъ годовую стоимость одной полезной лошад. силы, соотвѣтствующую данному случаю, то въ случаѣ водяной двигательной силы необходимо принять въ соображеніе стоимость обзаведенія и содержанія и соотвѣтственно проценты и амортизацію первоначально затраченнаго капитала, а въ случаѣ паровой силы — еще расходъ топлива и проч. Тогда годовой расходъ k, при продолжительномъ доставленіи количества воды, соотвѣтствующаго наибольшему расходу, помимо содержанія персонала, въ извѣстныхъ предѣлахъ независимаго отъ размѣровъ машины, составитъ:

$$k_1 = a\ N = \frac{a W (H + h_1 - h)}{3600 . 75.\ n};$$

если обозначимъ количество воды, протекающей по напорному трубопроводу въ 1 секунду, черезъ

$$Q = \frac{W}{3600. n},$$

то получаемъ:

$$K_1 = \frac{a\ Q}{75}(H + h_1 - h).$$

Если напорный трубопроводъ имѣетъ внутр. діаметръ D, то стоимость его устройства можетъ быть принята пропорціональной извѣстному числу m, помноженному на этотъ внутренній діаметръ и на длину L трубопровода, какъ это было приведено выше. Если затѣмъ будемъ считать на проценты и амортизацію складочнаго капитала и на содержаніе трубопровода p процентовъ, то ежегодная стоимость K_2 трубопровода будетъ

$$K_2 = \frac{p\ m\ D\ L}{100} = c\ D\ L.$$

Такимъ образомъ общій годовой расходъ K на подъемъ воды и содержаніе напорной сѣти, помимо содержанія личнаго состава, будетъ

$$6)\ K = K_1 + K_2 = \frac{a\ Q}{75}(h_1 - h) + \frac{a\ Q}{75} H + c\ D\ L,$$

при чемъ первый членъ правой части уравненія остается постояннымъ, а остальные два члена измѣняются съ измѣненіемъ D, такъ какъ изъ ур. 2) имѣемъ $H = \frac{\lambda\ Q^2\ L}{D^5}$. Подставивъ эту величину H, находимъ:

$$7)\ K = \frac{a\ Q}{75}(h_1 - h) + \frac{\lambda a Q^3 L}{75\ D^5} + c\ D\ L.$$

Для полученія наименьшей стоимости, необходимо должно быть

$$\frac{d\ K}{a\ D} = 0, \text{ или } -\frac{5\ \lambda\ a\ Q^3\ L}{76\ D^5} + c\ L = 0,$$

отсюда получается:

$$8)\quad D = \sqrt[6]{\frac{\lambda a Q^2}{15 . c}} = \varepsilon \sqrt{Q},$$

гдѣ постоянная $\varepsilon = \sqrt[6]{\frac{\lambda a}{15 . c}}$.

Если черезъ u обозначимъ среднюю скорость воды по напорному трубопроводу, то такъ какъ всегда должно быть $Q = \frac{\pi D^2}{4} u$, получимъ

$$9)\quad u = \frac{4}{\varepsilon^2 \pi}.$$

Въ предѣлахъ практическихъ примѣненій значеніе ε обыкновенно получается между 1,40 и 1,80, что соотвѣтствуетъ колебанію скорости между 0,4 и 0,7 метр. въ секунду. Значеніе D и соотвѣтственно u оказываются независимыми отъ гедезической высоты поднятія $h_1 — h$ и отъ длины L*). Такъ какъ стоимость погоннаго метра напорнаго трубопровода не просто пропорціональна внутреннему діаметру, и такъ какъ при прочихъ равныхъ условіяхъ она выходитъ тѣмъ дешевле, чѣмъ больше его длина и т. д., то эти формулы принимаютъ болѣе сложный видъ. Относящіяся сюда вычисленія весьма нетрудны, но мы въ ихъ подробности здѣсь входить не будемъ. Для большей части случаевъ практики среднее значеніе u можетъ быть принято 0,55 метр. въ секунду.

Общее расположеніе водоподъемныхъ приспособленій. Послѣ точнаго установленія внутренняго діаметра трубопровода для данной снабжаемой мѣстности и высоты напора, подъ которымъ вода должна притекать, задача объ искусственномъ поднятіи воды является совершенно точно опредѣленной. Рѣшеніе этой задачи обыкновенно допускаетъ много варіацій, и не всегда легко тщательно разобраться во всѣхъ этихъ варіаціяхъ и выбрать наиболѣе подходящую къ данному случаю. Можно полагать, что почти при всякомъ способѣ рѣшенія опыты дѣйствительной работы укажутъ возможность и необходимость дальнѣйшихъ усовершенствованій.

Между водоподъемными машинами вообще различаютъ: малыя съ полезной производительностью приблизительно до 25 лош. силъ, среднія съ полезной производительностью отъ 25 до 100 лошад. силъ и большія съ полезной производительностью выше 100 лош. силъ; причемъ полезная производительность водоподъемной машины опредѣляется произведеніемъ изъ количества подымаемой воды на приведенную выше теоретическую высоту поднятія. Точно также подъ малой высотой напора (подъ которой разумѣютъ давленіе въ воздушномъ котлѣ насоса $\frac{p}{\gamma}$) разумѣютъ высоту отъ 1 до 25 метр.; средними высотами напора считаются лежащія между 25 и 75 метр., а большими считаются напоры выше 75 метр.

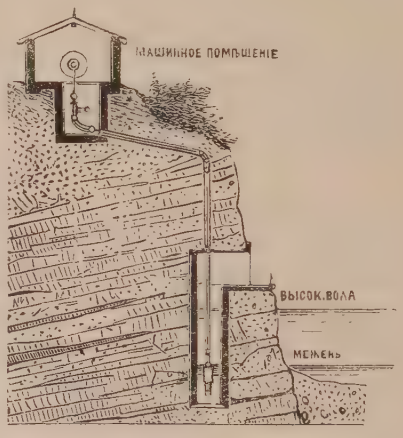
Находящіяся въ продажѣ чугунныя водопроводныя трубы почти всѣ испытываются на литейныхъ заводахъ давленіемъ въ 15 атмосф. Такъ какъ допускаемый въ трубопроводѣ напоръ, вслѣдствіе ударовъ, долженъ составлять только половину пробнаго напора, то при напорѣ, превышающемъ 75 метр., для трубопровода должны быть употреблены трубы прочнѣе нормальныхъ трубъ.

*) Эти по своей точности вполнѣ достаточныя для практики формулы впервые обнародованы путемъ одинаковыхъ изслѣдованій Бресса и Дюпюи.

Водоподъемную машину цѣлесообразнѣе всего расположить у источника добыванія воды, такъ какъ въ этомъ случаѣ получается наименьшая высота всасыванія и наиболѣе короткій всасывающій трубопроводъ. Если выполненіе этого требованія по мѣстнымъ условіямъ почему-либо затруднительно (напр. вслѣдствіе опасности отъ половодья, земельныхъ затрудненій, дурного грунта для фундаментовъ и т. п.), то стараются располагать водоподъемныя приспособленія по возможности ближе къ источнику, или же путемъ отдѣльнаго провода (иногда сифоннаго трубопровода) направляютъ назначенную для подыманія воду отъ источника къ отдѣльной насосной шахтѣ, располагаемой, конечно, вблизи водоподъемной машины. Послѣднему способу всегда безусловно слѣдуетъ отдать преимущество предъ длиннымъ всасывающимъ трубопроводомъ.

Въ весьма небольшихъ сооруженіяхъ поршневая насосная штанга располагается въ самой напорной трубѣ, и такимъ путемъ достигается надлежащее положеніе водоподъемнаго механизма, если послѣднее не можетъ быть достигнуто у самого источника воды. Подобное расположеніе изображено на фиг. 189. Основной принципъ этого расположенія состоитъ въ томъ, что штанга направляется между катками и приводится въ движеніе прочными цѣпями въ закругленіяхъ трубы. Два рисунка съ лѣвой стороны фиг. 188 изображаютъ эти закругленія для цѣпей вмѣстѣ съ самими цѣпями; съ правой стороны показано направленіе штанги въ прямыхъ частяхъ трубъ. По обоимъ концамъ закругленія должны быть оставлены прямыя части, соотвѣтствующія длинѣ хода поршня, для предупрежденія заѣданія штанги. Посредствомъ подобнаго направленія (системы Schrankel'я) приводный механизмъ насоса можетъ быть расположенъ сбоку всасывающей шахты, между тѣмъ какъ обыкновенно для этой цѣли необходимо прибѣгать къ такимъ приспособленіямъ, которыя слишкомъ дороги для небольшихъ насосовъ. При болѣе крупныхъ сооруженіяхъ, наоборотъ, къ этой системѣ прибѣгаютъ весьма рѣдко. Она примѣнима преимущественно для добыванія воды вдоль крутыхъ скалистыхъ рѣчныхъ береговъ, а также и въ тѣхъ случаяхъ, когда двигатель не можетъ быть расположенъ надъ всасывающей шахтой, какъ напр. при вѣтряныхъ двигателяхъ, которые удобнѣе устанавливать высоко, между тѣмъ какъ вода большею частью находится ниже, и откачиваніе идетъ въ сторону отъ возвышенности, на которой поставленъ двигатель, и т. п.

Фиг. 188.



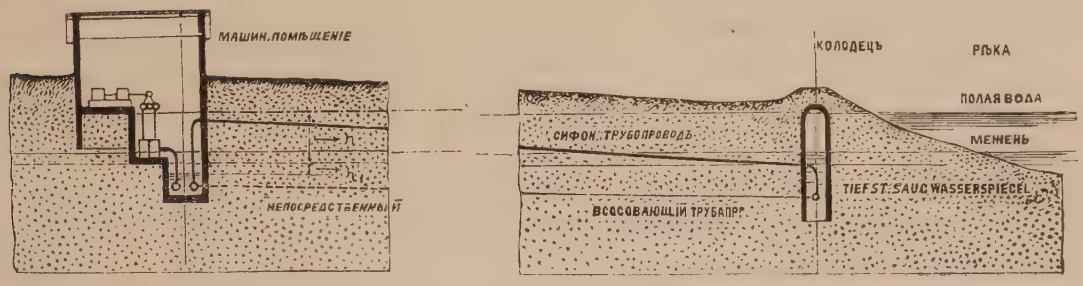
Фиг. 189.

При крупныхъ водоподъемныхъ машинахъ предпочтительно примѣняются сифонные трубопроводы. На фиг. 190, напр. изображенъ случай откачиванія естественно фильтрованной рѣчной воды, при чемъ наиболѣе глубокій уровень всасыванія въ колодцѣ расположенъ на 1,5 до 2 метр. ниже меженнаго (наинизшаго) уровня рѣки. Уровень воды во всасывающемъ колодцѣ при водоподъемной машинѣ долженъ быть еще глубже, а именно разность h_1 между высотами обоихъ уровней должна быть достаточна для преодолѣнія всѣхъ сопротивленій во всасывающей сѣткѣ у нижняго клапана и въ сифонной трубѣ. Если высота верхней точки трубопровода надъ наинизшимъ уровнемъ всасыванія будетъ h_0, то, такъ какъ совершенно безвоздушное пространство никогда не достижимо, необходимо всегда должно быть выполнено условіе

$$h_1 + h_1 \leqq 7 \text{ метр. (въ крайнемъ случаѣ 8 метр.).}$$

Кромѣ того изъ самой верхней части сифона постоянно долженъ откачиваться воздухъ помощью отдѣльнаго воздушнаго насоса, при чемъ вся система должна быть расположена такъ, чтобы сифонная труба была заполнена водой до верхней своей точки, т. е. чтобы она была закрыта съ обоихъ концовъ и могла бы питаться въ верхушкѣ.

Если соблюдены всѣ мѣры предосторожности, то сифонный трубопроводъ надежнѣе и вслѣдствіе своей большей доступности даетъ больше увѣренности въ правильномъ своемъ дѣйствіи, нежели постепенно подымающійся къ всасывающей шахтѣ непосредственный всасывающій трубопроводъ, и кромѣ того онъ даетъ значительное сбереженіе стоимости вслѣдствіе устраненія чрезвычайно затруднительныхъ подводныхъ работъ, при которыхъ всегда слѣдуетъ опасаться въ будущемъ появленія неплотностей, которыя весьма трудно отыскивать и устранять.



Фиг. 190.

Если въ мѣстахъ добыванія воды имѣется слишкомъ мало мѣста для устройства большой насосной станціи, то здѣсь обыкновенно устанавливается водоподъемный насосъ, требующій мало мѣста, и вода поднимается и проводится къ другому мѣсту, назначенному для постановки насосной станціи. Подобное устройство иногда примѣняется въ томъ случаѣ, когда, какъ это напр. бываетъ при полученіи воды изъ рѣки или при такъ называемой естественной фильтраціи, машинное помѣщеніе должно быть предохранено отъ заливанія во время половодья помощью водонепроницаемыхъ стѣнъ и дна или опущенной въ грунтовую воду непроницаемой шахты, и желательно избѣгнуть сопряженныхъ съ подобнымъ устройствомъ крупныхъ затратъ и другихъ неудобствъ (напр. сырости машиннаго помѣщенія и проч.). Въ этихъ случаяхъ возможность устройства требующаго небольшаго пространства машиннаго отдѣленія достигается постановкой балансирныхъ машинъ или вертикальнымъ расположеніемъ насосной оси съ приводомъ сверху, причемъ полъ машиннаго помѣщенія располагается выше уровня высокой воды. Наиболѣе удобнымъ приспособленіемъ для промежуточнаго перекачиванія на небольшія высоты, преимущественно, когда напр. дѣло идетъ о поднятіи рѣчной или озерной воды и т. д. на расположенный близъ берега фильтръ, безопасно могутъ считаться центробѣжные насосы.

Въ отношеніи общаго устройства самихъ водоподъемныхъ машинъ можно различать единичныя, т. е. работающія отдѣльно машины, и групповыя, т. е. работающія группами. Первый типъ машинъ въ настоящее время встрѣчается почти повсюду. Для большихъ же водоснабженій, заимствующихъ воду изъ далеко другъ отъ друга расположенныхъ грунтовыхъ потоковъ, ключей и пр., сосредоточеніе всѣхъ водоподъемныхъ машинъ въ одномъ мѣстѣ представляетъ собой нѣкоторыя затрудненія, такъ что въ будущемъ можно ожидать, что распредѣленіе насосныхъ станцій на значительныхъ протяженіяхъ найдетъ себѣ болѣе обширное примѣненіе, нежели въ настоящее время, и еще тѣмъ болѣе, что электрическая передача энергіи даетъ весьма удобный и выгодный способъ приведенія въ дѣйствіе цѣлой системы водоподъемныхъ машинъ изъ одного центральнаго мѣста.

Спеціальное устройство водоподъемовъ, правильный выборъ машинъ и приспособленій, вычисленіе и удовлетвореніе всѣмъ требованіямъ, достиженіе тщательнаго ихъ выполненія и правильнаго дѣйствія при наименьшихъ расходахъ представляютъ собой требованія, предъявляемыя къ руководящему этимъ дѣломъ спеціалисту.

Главнымъ образомъ необходимо принять во вниманіе:

1) Всасывающіе и напорные трубопроводы, или соотвѣт. вліяніе высоты всасыванія и высоты поднятія воды.

2) Двигательную силу, т. е. потребные для подъема воды двигатели.

3) Водоподъемныя машины и способъ ихъ дѣйствія или рабочее время машины.

4) Зданія и другія хозяйственныя приспособленія.

5) Содержаніе въ исправности совокупности всѣхъ сооруженій для подъема воды.

6) Стоимость подъема воды.

Всѣ эти вопросы будутъ разсмотрѣны нами настолько, насколько это допускается предѣлами нашей книги. При этомъ мы здѣсь не будемъ останавливаться на выясненіи всѣхъ деталей, такъ какъ оно составляетъ предметъ спеціальнаго машиностроенія. Здѣсь считаемъ не лишнимъ предварительно сказать нѣсколько словъ вообще по этому предмету.

Опредѣленное или окончательное рѣшеніе задачи, т. е. удовлетворяющее далекой будущности, въ этомъ отношеніи не можетъ быть выполнено, такъ какъ главное основное положеніе, а именно возрастаніе потребности въ водѣ, невозможно предвидѣть, и всѣ машины имѣютъ извѣстную ограниченную продолжительность службы. Поэтому уже при первомъ проектѣ необходимо имѣть въ виду возможность дальнѣйшаго расширенія и измѣненія и при всѣхъ относящихся сюда сооруженіяхъ отказаться отъ всего „монументальнаго“, какъ совершенно излишней роскоши.

Такъ какъ расходы по дѣйствію водоподъемныхъ машинъ вътеченіе года почти всецѣло рѣшаютъ вопросъ объ общихъ расходахъ (состоящихъ изъ процентовъ и амортизаціи складочнаго капитала вмѣстѣ съ расходами по дѣйствію), то всякая потеря работы должна быть повозможности устранена, а слѣд. прежде всего должно быть обращено вниманіе на непосредственную передачу силы отъ двигателя къ водоподъемной машинѣ. Затѣмъ долговѣчность машинъ должна быть по возможности высока. Она значительно понижается, если отдѣльныя части машины не равномѣрно напряжены, такъ что это является возможнымъ только при весьма тщательномъ выполненіи и при отсутствіи всякаго впередъ не предвидѣннаго напряженія. Поэтому слѣдуетъ держаться испытанныхъ выработанныхъ конструкцій, къ которымъ обыкновенно не принадлежатъ предлагаемыя наиболѣе дешевыя подражанія. Наконецъ, самое лучшее машинное сооруженіе при небрежномъ и неумѣломъ обслуживаніи можетъ придти въ совершенную негодность вътеченіе весьма короткаго времени. Поэтому необходимо наблюдать за тщательнымъ уходомъ и содержаніемъ сооруженія. Простота надзора и правильный выборъ рабочаго персонала представляетъ собой факторы первостепенной важности.

Всасывающіе и напорные трубопроводы. Вліяніе восоты всасыванія и высоты поднятія. Всасывающіе трубопроводы должны быть направлены, по возможности повышаясь къ водоподъемнымъ машинамъ; въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ это оказывается невозможнымъ, необходимо у высшихъ пунктовъ трубы откачивать воздухъ помощью особыхъ приспособленій. Во всякомъ случаѣ необходимо обратить вниманіе на то, чтобы всасывающій трубопроводъ былъ безусловно плотенъ и воздухонепроницаемъ. Опытъ показалъ, что подобная плотность трубы путемъ муфтоваго ихъ соединенія (раструбами) достигается лучше, нежели фланцевымъ соединеніемъ. Крутыя закругленія должны быть по возможности избѣгаемы. Во всѣхъ случаяхъ необходимо стремиться къ достиженію наименьшей длины всасывающаго трубопровода, главнымъ образомъ при незначительномъ внутреннемъ діаметрѣ подобнаго трубопровода Если общая длина всасывающаго трубопровода достигаетъ 5 метр. и больше, то даже и въ томъ случаѣ, когда вода поступаетъ въ водоподъемную машину подъ естественнымъ напоромъ, для достиженія плавнаго хода безъ ударовъ и толчковъ, на всасывающей трубѣ необходимо установить всасывающій воздушный котелъ емкостью по меньшей мѣрѣ въ 3 раза больше объема, описываемаго поршнемъ насоса *). Этотъ воздушный котелъ работаетъ весьма дурно или даже совсѣмъ не работаетъ, если онъ не установленъ непосредственно за насосами, т. е. за всасывающими клапанами и до нѣкоторой высоты заполненъ воздухомъ. Необходимо также снабдить этотъ воздушный котелъ соотвѣтствующей арматурой для распознаванія присутствія въ немъ воздуха и отсчитыванія степени его полезнаго дѣйствія (водомѣрнымъ стекломъ, пробными кранами, воздуховпускными клапанами, вакуметромъ). Высота или правильнѣе глубина всасыванія, считая отъ нижняго края нагнетательнаго клапана, въ крайнемъ случаѣ должна составлять 7 до 8 метр; въ эту высоту входитъ также потеря напора отъ тренія при проходѣ воды по всасывающему трубопроводу и при поступленіи въ него (y нижняго клапана, сѣтки), такъ что если эти потери напора составятъ Z метр., а разность геодезическихъ высотъ нижняго края напорнаго клапана и наинизшаго уровня всасыванія составляетъ s метр., то всегда должно быть удовлетворено условіе:

$$10)\quad z+z \leqq 7 \text{ до } 8 \text{ метр.}$$

На всасывающей трубѣ (у нижняго ея конца) при всѣхъ обстоятельствахъ необходимо должна быть поставлена сѣтка (для предупрежденія попаданія въ насосъ различныхъ плавающихъ въ водѣ тѣлъ); нижній запорный клапанъ въ тѣхъ случаяхъ, когда $z+h<2$ метр., можетъ быть не поставленъ. Опредѣленный неравенствомъ 10) предѣлъ высоты всасыванія не допускаетъ дальнѣйшаго увеличенія скорости водоподъемной машины; если же въ исключительныхъ случаяхъ требуется возможность увеличенія скорости, то нормальная глубина всасыванія должна быть сдѣлана меньше.

Всегда цѣлесообразно дѣлать діаметръ всасывающихъ трубъ, которыя обыкновенно строятся съ нормальной толщиной стѣнокъ, одинаковымъ съ діаметромъ напорной трубы, опредѣляемымъ по ур. 8). Если же это почему-либо невыполнимо, какъ напр. при добываніи воды изъ небольшихъ буровыхъ сква-

*) При болѣе длинныхъ трубопроводахъ объемъ этого воздушнаго котла доходитъ до 15-ти кратнаго объема насоса.

жинъ и пр., то во всякомъ случаѣ необходимо стремиться къ тому, чтобы скорость воды во всасывающей трубѣ всегда оставалась бы меньше 1,2 метр. въ секунду (см. ниже примѣчаніе).

Напорные трубопроводы могутъ быть изготовлены съ нормальной толщиной стѣнокъ, пока напоръ не превышаетъ 75 метр. (7,5 атм.); въ противномъ случаѣ стѣнки трубъ должны быть сдѣланы толще. Непосредственно за или надъ насосомъ необходимо установить напорный воздушный котелъ, который на $^2/_3$ своего объема долженъ быть всегда наполненъ воздухомъ, и емкость котораго должна быть по меньшей мѣрѣ въ 3 раза больше объема насоса, а при длинныхъ трубопроводахъ еще больше*). Этотъ котелъ точно также долженъ быть снабженъ необходимой арматурой (водомѣрнымъ стекломъ, пробнымъ приспособленіемъ, воздуховпускными клапанами, манометромъ); иногда напорные воздушные котлы снабжаются еще предохранительными клапанами, открывающимися при превышеніи давленія больше извѣстнаго предѣла.

При прочихъ одинаковыхъ условіяхъ водоподъемныя машины работаютъ тѣмъ правильнѣе и плавнѣе, чѣмъ меньше въ нихъ высота всасыванія. Высота напора имѣетъ весьма существенное вліяніе на прочность частей машинъ, основные размѣры которыхъ опредѣляются по количеству воды, поднимаемой машиной за 1 оборотъ (двойной ходъ поршня). Чѣмъ больше это количество поднимаемой воды, тѣмъ большія усилія развиваются въ машинѣ, и тѣмъ большіе размѣры должны быть приданы насосамъ, клапаннымъ коробкамъ и проч., и обратно. При опредѣленномъ полномъ количествѣ воды, поднимаемой въ единицу времени, количество воды, поднимаемой за 1 оборотъ (двойной ходъ), можетъ быть уменьшено двоякимъ путемъ: распредѣленіемъ всей поднимаемой воды между нѣсколькими насосами и увеличеніемъ числа оборотовъ машины. Къ тому или другому способу необходимо прибѣгать тогда, когда насосы работаютъ съ весьма сильнымъ напоромъ, такъ какъ въ подобныхъ случаяхъ безъ этой мѣры потребуется такая толщина стѣнокъ клапанныхъ коробокъ и пр., изготовленіе которыхъ весьма затруднительно и не даетъ увѣренности въ достаточной ихъ прочности. Мы къ этому еще вернемся ниже.

Точный предѣлъ высоты напора не можетъ быть установленъ. Существуютъ водоснабженія съ напорами выше 50 атм. (напр. водоснабженіе Monts-Chauves при Ниццѣ съ напоромъ въ 513 метр. и длиной напорной трубы 1350 метр.); для аккумуляторовъ, гидравлическихъ прессовъ и проч. давленіе въ напорномъ трубопроводѣ доходитъ до 400 и 500 атмосф. При правильномъ устройствѣ трубопровода — соотвѣтствующей толщинѣ стѣнокъ и соединеніи трубъ, предохраненіи трубъ отъ прогиба, надлежащей почвѣ и проч. — существующія у многихъ инженеровъ предубѣжденія противъ сильныхъ напоровъ оказываются неосновательными.

Примѣчаніе. Принимая предѣлъ допускаемой скорости воды по всасывающему трубопроводу въ 1,2 метр., можно составить таблицу количествъ воды, проходящей черезъ всасывающія трубы или черезъ напорныя трубы такого же діаметра при безпрерывномъ качаніи (двухъ или трехъ-цилиндровымъ насосомъ двойного дѣйствія, центробѣжнымъ, вращательнымъ и т. д.) и при обыкновенно встрѣчающихся въ продажѣ діаметрахъ.

*) Само собой разумѣется, что размѣры воздушныхъ котловъ должны быть вычислены. При нѣсколькихъ вмѣстѣ работающихъ насосахъ устанавливается еще такъ называемый главный воздушный котелъ.

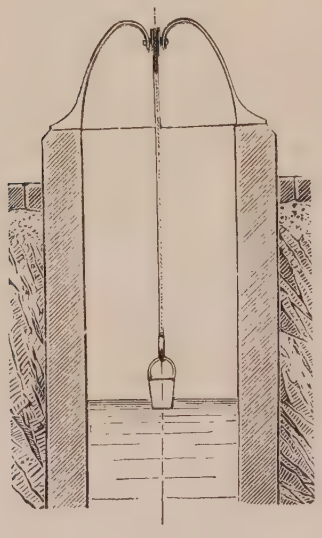
Внутрен. діам. трубы метр.	Площ. сѣченія трубы кв. метр.	Количество воды въ литр. въ секунду при скорости							
		$u=0,5$	$u=0,6$	$u=0,7$	$u=0,8$	$u=0,9$	$u=1,0$	$u=1,1$	$u=1,2$
0,050	0,001964	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
0,075	0,004418	2,2	2,7	3,1	3,5	4,0	4,4	4,9	5,3
0,100	0,007854	3,9	4,7	5,5	6,3	7,1	7,9	8,6	9,4
0,125	0,012272	6,1	7,4	8,6	9,8	11,0	12,3	13,5	14,7
0,150	0,017671	8,8	10,6	12,4	14,1	15,9	17,7	19,4	21,2
0,175	0,024053	12	14,4	16,8	19,2	21,6	24	26,5	28,9
0,200	0,031416	16	19	22,0	25	28,0	31	34	37
0,225	0,039761	20	24	28,0	32	36	40	44	48
0,250	0,04987	25	29	34	39	44	49	54	59
0,275	0,05936	30	36	42	48	53	59	75	71
0,300	0,070686	35	42	49	57	64	71	98	85
0,325	0,082958	41	49	58	66	75	83	91	100
0,350	0,096211	48	58	67	77	86	96	106	115
0,375	0,110447	55	66	77	88	99	110	122	133
0,400	0,125664	63	75	88	101	113	126	138	151
0,425	0,141863	71	85	99	113	128	142	156	170
0,450	0,159043	80	95	111	127	143	159	175	191
0,475	0,177205	89	106	124	142	159	177	195	212
0,500	0,196350	98	118	137	157	176	196	216	233
0,550	0,237583	119	143	167	190	214	238	262	285
0,600	0,282743	141	170	198	226	254	283	311	339
0,650	0,331831	166	199	232	266	299	332	364	398
0,700	0,384845	192	231	269	308	346	385	423	462
0,750	0,441786	221	265	309	353	398	442	486	530
0,800	0,502655	251	302	352	402	452	503	553	603
0,850	0,567450	284	340	397	454	511	567	624	681
0,900	0,636173	318	382	445	509	573	636	700	763
0,950	0,708822	354	425	496	567	638	709	780	850
1,000	0,785398	393	471	550	628	707	785	864	943

Тѣмъ не менѣе при весьма большой высотѣ напора слишкомъ значительная стоимость одиничного сооруженія съ экономической точки зрѣнія ведетъ къ раздѣленію (т. е. къ устройству двухъ насосныхъ станцій), какъ это напр.

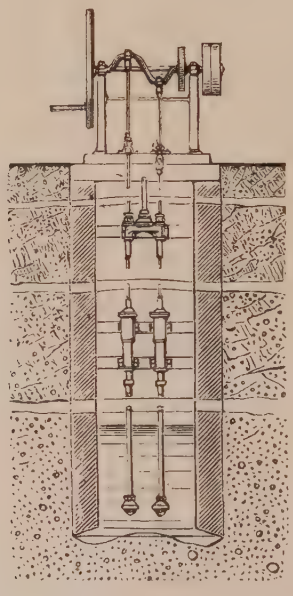
имѣло мѣсто въ Эльберфельдскомъ водопроводѣ и должно имѣть мѣсто вездѣ, гдѣ напорные трубопроводы пропускаютъ большое количество воды подъ весьма значительнымъ напоромъ. [1]).

Двигательная сила или двигатели для подъема воды. Между имѣющимися въ распоряженіи двигательными силами разсмотримъ здѣсь примѣненіе силы людей и животныхъ, силы воды, пара, газа и вѣтра. Электрическіе двигатели, двигатели съ сжатымъ воздухомъ и пр. здѣсь разсматривать не будемъ, такъ какъ полученіе электрическаго тока химическимъ путемъ для цѣлей подъема воды едва ли является выгоднымъ.

Сила людей и животныхъ примѣняется для приведенія въ дѣйствіе огромнаго числа существующихъ водоподъемныхъ машинъ, но преимущественно при весьма небольшихъ сооруженіяхъ. Для подъема воды примѣняются самыя разнообразныя средства, начиная съ обыкновеннаго ведра или бадьи и кончая сильными насосами и черпальными машинами съ конными приводами, приводимыми въ дѣйствіе силой лошадей, воловъ и проч. Простѣйшее черпаніе воды производится помощью ручного ведра или черпака емкостью около 10-литр., которымъ взрослый человѣкъ можетъ дѣлать 10 вычерпываній въ минуту, по



Фиг. 191.



Фиг. 192.

днимая при этомъ воду на высоту 1 метр. Черпаки съ ручками также успѣшно служатъ для этой цѣли. Но наиболѣе часто встрѣчается примѣненіе цѣпныхъ ведеръ на блокахъ. Для опусканія ведра и подъема его послѣ наполненія водой примѣняется или обыкновенный направляющій блокъ (какъ на фиг. 191),

[1]) Изготовляемыя нормальныя трубы съ муфтами при діаметрѣ уже въ 500 миллим. и больше выдерживаютъ въ уложенныхъ сѣтяхъ напоръ въ 6—8 атмосферъ только при принятіи всѣхъ мѣръ предосторожности относительно тщательности заливки муфтъ, подкладокъ подъ ними и пр. Меньшія же трубы, напр. въ 200 милим., могутъ безопасно выдержать напоръ въ сѣти въ 15 атмосферъ безъ особаго удлиненія раструбовъ; но во всякомъ случаѣ онѣ при этомъ дѣлаются съ болѣе толстыми стѣнками.

или же воротъ. Обыкновенно на двигающейся по блоку или вороту цѣпи находятся 2 ведра по одному съ каждаго конца, такъ что одно ведро опускается тогда, когда другое подымается. Для болѣе удобнаго ихъ погруженія въ воду и вытягиванія они подвѣшиваются также на уравновѣшенныхъ рычагахъ. При большихъ подъемахъ для передачи силы примѣняются маховики. Винтовыя колеса, черпальныя колеса, черпальныя машины съ норіями и т. под. приспособленія приводятся въ движенія силой людей или конными приводами, когда требуется временное поднятіе большихъ количествъ воды на небольшую высоту. Въ культурныхъ странахъ, однако, большей частью для этой цѣли примѣняются простые насосные колодцы, приведенные нами выше (см. отд. II, фиг. 144—163). Для болѣе значительныхъ потребностей служатъ весьма распространенные въ настоящее время двойные насосы, приводимые въ движеніе силой людей помощью маховика или же ремнемъ отъ привода (фиг. 192). При глубинѣ колодца, не превышающей 18 метр., производительность такого насоса составляетъ въ круглыхъ числахъ 60 литр. воды въ минуту при скорости около 45 оборотовъ въ минуту. Подобное же приспособленіе примѣняется и для большей производительности при приведеніи насоса въ дѣйствіе помощью коннаго привода, при чемъ колѣнчатый валъ обыкновенно располагается на нѣкоторой глубинѣ подъ землей, а работа лошади передается ему помощью зубчатыхъ колесъ. Коническія колеса большей частью располагаются подъ деревянной платформой, по которой ходитъ лошадь или другое рабочее животное.

Считаемъ совершенно лишнимъ приводить здѣсь описаніе и чертежи относящихся сюда устарѣлыхъ приспособленій, мало употребляющихся при современныхъ водоснабженіяхъ. Чертежи обыкновенно употребляемыхъ для колодцевъ насосовъ, дѣйствующихъ силой людей, каждый техникъ найдетъ въ каталогахъ техническихъ фирмъ и складовъ водопроводныхъ принадлежностей.

Что касается взаимнаго соотношенія между силой человѣка и животныхъ, то можно принять, что въ теченіе безпрерывной 8-ми часовой работы, соотвѣтствующей рабочему дню, человѣкъ на рукояти (или кривошипѣ) можетъ развить работу около 170000, лошадь на конномъ приводѣ 1160000, волъ 1000000, мулъ 800000 и оселъ 300000 килограммо-метр. Для постояннаго дѣйствія эти силы слишкомъ дороги, въ чемъ легко убѣдиться сравнительными вычисленіями.

Водяная сила. Встрѣчающаяся въ природѣ водяная сила въ большей части случаевъ бываетъ такова, что съ незначительными количествами воды связаны большія паденія, а съ большими количествами воды, наоборотъ, небольшія паденія. Кромѣ того, какъ мы видѣли выше, постоянныя количества воды совершенно немыслимы въ тѣхъ случаяхъ, когда доставляющіе ихъ ручьи питаются исключительно ключами или искусственно открытыми грунтовыми потоками. Такимъ образомъ о постоянной водяной силѣ можетъ быть рѣчь въ томъ лишь случаѣ, когда наименьшая производительность источника воды всегда превышаетъ наибольшее количество воды, требуемой для дѣйствія данныхъ машинъ. Въ этомъ случаѣ постоянство силы означаетъ достаточность ея во всякое время. Но подобные случаи принадлежатъ къ весьма рѣдкимъ еще и потому, что обыкновенно работа водоподъемной машины достигаетъ своего максимума при сильной засухѣ, а слѣдовательно и при наинизшемъ уровнѣ воды во всѣхъ водоемахъ.

Если имѣютъ въ виду примѣнять для искусственнаго подъема воды исключительно водяную силу, то первая и неизбѣжная задача инженера состоитъ въ точномъ выясненіи себѣ возможнаго въ данномъ случаѣ хозяйства. На-

блюденія надъ количествами имѣющейся въ распоряженіи рабочей воды по соображенію со всѣми мѣстными побочными обстоятельствами (существующія права собственности, оросительныя сооруженія и проч.) должны идти рука объ руку съ точнымъ опредѣленіемъ высотъ уровня воды въ различные періоды. Эти наблюденія должны также распространяться и на качества воды. Необходимо точно путемъ наблюденій установить, замерзаетъ ли вода и въ какое время, т. е. сколько времени вода остается въ замерзшемъ состояніи и несетъ ли съ собой грунтовый ледъ, и т. д.; затѣмъ мутнѣетъ ли вода только при половодьѣ или также и въ другое время, и какого рода бываютъ примѣси въ водѣ — глинистыя или песчаныя; точно также необходимо путемъ наблюденій установить, попадаются ли временами въ водѣ опавшіе листья, трава, куски дерева и проч. Наконецъ въ мѣстѣ, предназначенномъ для постановки двигателя, необходимо точно изучить положеніе уровней верхнихъ и нижнихъ водъ при всѣхъ возможныхъ уровняхъ въ рѣкѣ и при возможномъ отводѣ ея другими владѣльцами воды.

Если возможно, то эти наблюденія должны простираться на болѣе или менѣе значительные періоды времени (нѣсколько лѣтъ).

Если обозначить черезъ:

η — полезную работу на валу мотора (полученную путемъ тормаженія),

W — наименьшее находящееся въ распоряженіи количество воды въ литр. въ секунду,

G — рабочую высоту паденія, т. е. разность между уровнями верхней и нижней воды.

Q — количество воды, которое должно быть поднято водоподъемной машиной въ литр. въ секунду,

$f = H + h_1 - h$ (ср. ур. 4) теоретическую высоту подъема,

ε — число, на которое нужно помножить полезную работу на валу двигателя для полученія полезной работы Qf приводимой въ движеніе водоподъемной машины, то аналитическое условіе возможности постояннаго дѣйствія будетъ:

$$11)\quad \varepsilon\eta\, WG \geqq Qf.$$

Въ этомъ уравненіи величины η и ε извѣстны, если извѣстенъ родъ двигателя и передача отъ него работы соединенной съ нимъ водоподъемной машинѣ. Точное опредѣленіе этихъ коэффиціентовъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ должно быть произведено отдѣльно и подъ гарантіей машиностроительнаго завода, взявшаго на себя поставку двигателя и машины. Вообще же объ этихъ коэффиціентахъ можно замѣтить слѣдующее:

Каждый изъ коэффиціентовъ ε и η меньше 1.

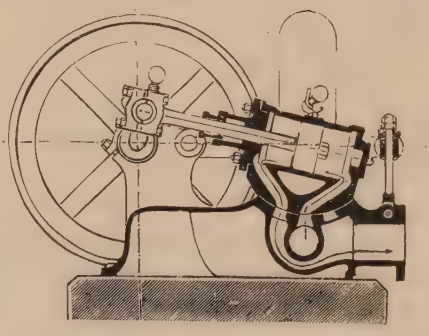
Коэффиціентъ ε имѣетъ наибольшее значеніе, когда передача силы происходитъ непосредственно, какъ это имѣетъ мѣсто въ водостолбовыхъ машинахъ. Затѣмъ слѣдуетъ тотъ случай, когда водоподъемная машина дѣйствуетъ прямо отъ вала двигателя безъ промежуточной передачи (зубчатыхъ колесъ, ременныхъ шкивовъ и пр.). Наименьшее значеніе коэффиціента ε получается при болѣе или менѣе сложной промежуточной передачѣ между двигателемъ и водоподъемной машиной.

Величина η зависитъ отъ рода двигателя.

Примѣненію весьма выгодно работающихъ поршневыхъ машинъ (водостолбовыхъ машинъ) въ большихъ сооруженіяхъ препятствуетъ значительная стоимость крупныхъ машинъ, а также и то обстоятельство, что для избѣжанія сильнаго изнашиванія машина должна работать съ совершенно чистой водой. Для

подобныхъ машинъ можно принять $\eta = 0{,}70$ до $0{,}85$, а если машины приводятся въ дѣйствіе той же водою, которую накачиваютъ, то можно принять даже $\varepsilon = 0{,}70$.

Изъ всѣхъ этихъ машинъ наиболѣе извѣстная—это водяной двигатель Шмида, изображенный здѣсь частью въ разрѣзѣ на фиг. 193. Эта машина служитъ преимущественно для выгоднаго использованія водяной силы при большихъ паденіяхъ и незначительныхъ количествахъ воды. Вода дѣйствуетъ только своимъ давленіемъ на движущійся въ качающемся цилиндрѣ поршень, распредѣляясь поперемѣнно то по одной, то по другой сторонѣ при помощи неподвижнаго золотника вслѣдствіе качанія цилиндра, причемъ достигается около 80% полезнаго дѣйствія (на главномъ валу). Каналы, по которымъ вода поступаетъ и выходитъ изъ цилиндра, должны быть сдѣланы довольно широкими по отношенію къ площади поршня съ той цѣлью, чтобы скорость поршня могла замѣтно измѣняться, не подвергая при этомъ сильнымъ колебаніямъ величину полезнаго дѣйствія машины. Направленіе движенія воды при дѣйствіи двигателя показано на чертежѣ стрѣлками; примѣняемый обратнымъ образомъ этотъ двигатель дѣйствуетъ въ качествѣ насоса, какъ мы укажемъ ниже.



Фиг. 193.

Остальные водяные двигатели обыкновенно представляютъ собой турбины и водяныя колеса.

О правильномъ выборѣ между турбиной и водянымъ колесомъ въ каждомъ данномъ случаѣ ничего опредѣленнаго нельзя сказать безъ точнаго разсмотрѣнія данныхъ условій.

Многочисленныя наблюденія надъ полезнымъ дѣйствіемъ различныхъ водяныхъ двигателей дали слѣдующія наибольшія значенія η:

Подливныя колеса съ прямыми руслами . . .	$\eta = 0{,}30 - 0{,}35$
Подливныя колеса съ круговыми руслами . .	$\eta = 0{,}50 - 0{,}60$
Колеса Сажбіена	$\eta = 0{,}65 - 0{,}75$
Колеса Понселе	$\eta = 0{,}60 - 0{,}65$
Колеса Цуппингера	$\eta = 0{,}65 - 0{,}75$
Заднебойныя колеса со щитомъ въ руслѣ . .	$\eta = 0{,}60 - 0{,}70$
Заднебойныя колеса съ водосливнымъ щитомъ въ руслѣ	$\eta = 0{,}65 - 0{,}75$
Верхнебойныя колеса (для $G > 5{,}5$ метр.) . .	$\eta = 0{,}70 - 0{,}75$
Хорошія, цѣлесообразно построенныя турбины	$\eta = 0{,}70 - 0{,}75$

Турбины не всегда оказываются дороже хорошо построенныхъ водяныхъ колесъ*), при чемъ бываютъ одинаково прочны, какъ и колеса, даже большей частью прочнѣе послѣднихъ. Каждая отдѣльная турбина можетъ быть построена для весьма большой производительности, между тѣмъ какъ водяныя колеса могутъ быть рекомендованы только для работы до 50—60 лош. силъ и при паденіяхъ меньшихъ 10 метр. Большія водяныя колеса чрезвычайно тяжелы, что вредно вліяетъ на ихъ прочность и сильно повышаетъ стоимость.

*) Сравненіе стоимости обоего рода двигателей невозможно безъ соображенія съ условіями въ каждомъ данномъ случаѣ. На каждую полезную лошад. силу на валу стоимость турбины составляетъ около 100 до 800 марокъ (50—400 р.), а водяныхъ колесъ—отъ 100 до 400 марокъ, конечно, безъ подвода и отвода воды, устройства запрудъ и проч.

Но турбины, однако, въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказываются непримѣнимыми, если рабочая вода очень грязна, преимущественно, если она часто содержитъ въ себѣ кору, траву и т. д. и если она продолжительное время несетъ съ собой ледъ (грунтовой ледъ и т. д.). Тѣмъ не менѣе, путемъ раціонально обслуживаемыхъ или автоматически дѣйствующихъ рѣшетокъ вліяніе этихъ примѣсей въ водѣ можетъ быть парализовано; но обыкновенно это не имѣетъ мѣста, даже въ присутствіи приспособленія, и остановка дѣйствія происходитъ весьма часто.

Такъ какъ верхнебойныя водяныя колеса даютъ такое же полезное дѣйствіе, какъ и турбины, преимущественно при значительныхъ діаметрахъ колесъ, какъ напр. 5,5 метр., то они, гдѣ только это возможно, предпочитаются турбинамъ. Примѣненіе этихъ колесъ особенно можетъ быть рекомендовано въ случаяхъ незначительныхъ количествъ воды (отъ 50 до 1000 литр. въ секунду) и большихъ паденій (отъ 5,5 до 10 метр.); плавающая въ водѣ кора и ледоходъ весьма мало вредятъ полезному дѣйствію этихъ колесъ. Наоборотъ, запруживаніе воды въ нижнемъ отводномъ каналѣ весьма замѣтно понижаетъ полезное дѣйствіе этихъ колесъ.

Обыкновенныя подливныя или пошвенныя колеса, несмотря на низкій коэффиціентъ ихъ полезнаго дѣйствія, находятъ себѣ обширное примѣненіе при большихъ количествахъ рабочей воды и незначительныхъ паденіяхъ (отъ 0,5 до 1 метр.), вслѣдствіе ихъ полной нечувствительности къ мутной водѣ съ содержаніемъ большихъ количествъ примѣсей.

Колеса Сажбіена, а при паденіяхъ отъ 1 до 5 метр. также и колеса Понселе, среднебойныя и колеса Цуппингера, дающія довольно значительное полезное дѣйствіе, очень часто замѣняютъ собой турбины, преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда трудно разсчитывать на требуемое турбиною обслуживаніе, или въ случаѣ неправильности верхнихъ и нижнихъ водяныхъ сооруженій (измѣняющихся притоковъ и уровней воды), сильно понижающей полезное дѣйствіе турбинъ.

Между верхнебойными или верхне-наливными колесами, въ которыя вода поступаетъ сверху, и подливными или пошвенными, при которыхъ вода поступаетъ ниже средины колеса, лежатъ заднебойныя колеса (съ притокомъ воды между вершиной и серединой колеса). Они даютъ сравнительно большой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, но при этомъ они дороже верхненаливныхъ и подливныхъ колесъ, и поэтому примѣняются только при особыхъ обстоятельствахъ, напр. тамъ, гдѣ турбины по вышеприведеннымъ причинамъ оказываются нецѣлесообразны, а для верхненаливного колеса паденіе слишкомъ мало, или въ тѣхъ случаяхъ, когда для постановки водяного колеса имѣется въ распоряженіи мало мѣста и т. д.

Здѣсь невозможно привести всѣ условія, при которыхъ преимущество должно быть отдано тому или другому двигателю; кромѣ того взгляды спеціалистовъ на этотъ вопросъ тоже не вполнѣ согласуются между собой. Таблица или діаграмма, составленная въ свое время авторитетомъ по машиностроенію Редтенбахеромъ для категорическаго рѣшенія вопроса о выборѣ рода водянаго двигателя, при настоящемъ состояніи машиностроительной техники не можетъ уже считаться безусловно правильной. Съ другой стороны, нѣкоторые спеціалисты признаютъ только однѣ турбины, а въ крайнемъ случаѣ верхненаливныя колеса, считая приведенныя нами нарушенія дѣйствія двигателя плавающимъ льдомъ, корой и т. под. вполнѣ устранимыми. Такъ какъ всѣ подобные вопросы при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, и

преимущественно при одинаковой солидности выполненія, рѣшаются по наименьшей стоимости, то путемъ сравненія отдѣльныхъ проектовъ при соображеніи съ данными спеціальными условіями можно достигнуть правильнаго рѣшенія вопроса въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

Наконецъ, здѣсь считаемъ нелишнимъ упомянуть, что при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ турбины могутъ быть устроены съ вертикально расположенными колесами и горизонтальными валами, какъ обыкновенныя водяныя колеса (см. ф. 198), такъ что по отношенію передачи силы насосамъ оба рода двигателей въ этомъ случаѣ отличаются только числомъ оборотовъ рабочихъ валовъ.

Относительно послѣдняго обстоятельства замѣтимъ здѣсь слѣдующее:

Если черезъ u обозначимъ скорость на окружности колеса, черезъ R радіусъ его и черезъ n число оборотовъ колеса въ минуту, то для водяныхъ колесъ получимъ соотношеніе:

$$n = \frac{30.u}{\pi R} = 9{,}55\ \frac{u}{R},$$

и при данномъ паденіи G за наиболѣе благопріятную величину принимаютъ:

a) для подливныхъ колесъ съ прямыми руслами (при паденіи до 1 метр.):

$u = 1{,}77\ \sqrt{G}$; $R = 2$ до 4 метр., а слѣд. $n = 8{,}45\ \sqrt{G}$ до $4{,}23\ \sqrt{G}$.

b) Для подливныхъ колесъ съ круговыми руслами (при паденіяхъ до 1,5 метр.):

$u = 1{,}5$ до 2 метр.; $R = 1{,}5\ G$ до $2{,}5\ G$; $n = \frac{9{,}55}{G}$ до $\frac{7{,}64}{G}$.

c) Для колесъ Сажбіена (при паденіяхъ до 2 метр.):

$$u = 0{,}7 \text{ метр.}; \quad R = 3{,}0.\ G; \quad n = \frac{2{,}23}{G}.$$

d) Для колесъ Понселе (при паденіяхъ до 2 метр.):

$$u = 2{,}44\ \sqrt{G}; \quad R = 2\ G; \quad n = \frac{11{,}65}{\sqrt{G}}.$$

e) Для колесъ Цуппингера (при паденіяхъ до 2,5 метр.):

$$u = 1{,}2 \text{ метр}; \quad R = G \text{ до } 1{,}25\ G; \quad n = \frac{11{,}46}{G} \text{ до } \frac{9{,}16}{G}.$$

f) Для заднебойныхъ колесъ съ подъемными или водосливными щитами (при паденіяхъ до 8 метр.):

$$u = 1{,}25 \text{ до } 1{,}5 \text{ метр.}, \quad R = 0{,}65\ G \text{ до } 0{,}7\ G; \quad n = \frac{18{,}37}{G} \text{ до } \frac{20{,}46}{G}.$$

g) Для верхненаливныхъ колесъ (при паденіяхъ до 10 метр.):

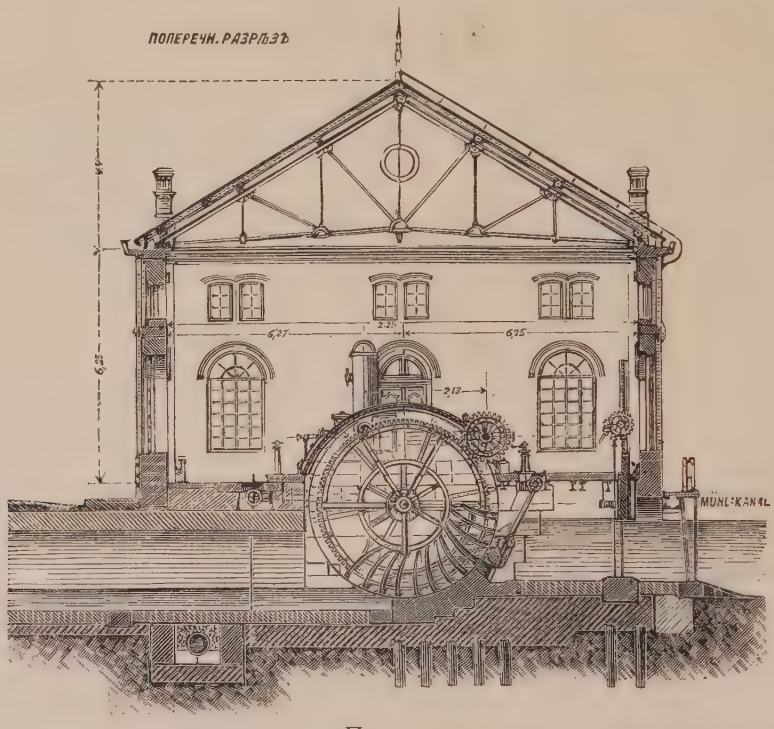
$u = 0{,}65\ \sqrt{G}$; $R = 0{,}45\ G$ до $0{,}49\ G$ (въ зависимости отъ способа впуска)

$$n = \frac{13{,}80}{\sqrt{G}} \text{ до } \frac{12{,}67}{\sqrt{G}}.$$

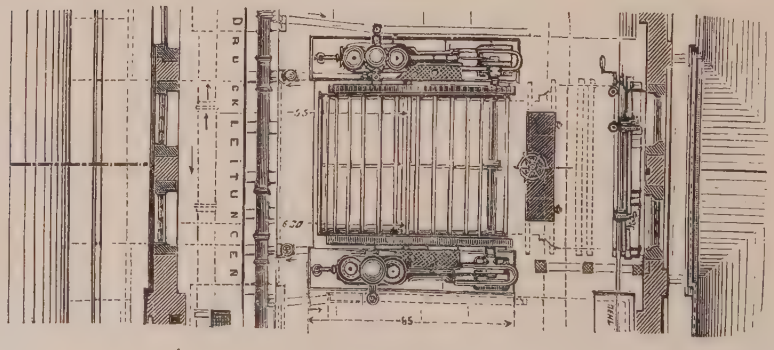
Скорости турбинъ черезвычайно различны въ зависимости отъ ихъ величины и высоты рабочаго напора воды.

Число оборотовъ водяныхъ двигателей играетъ весьма важную роль при передачѣ силы отъ рабочаго вала къ водоподъемной машинѣ (насосу.). Въ послѣднее время поршневымъ насосамъ большей частью придаютъ отъ 40 до 60 двойныхъ ходовъ (соотвѣтственно отъ 40 до 60 оборотовъ) въ минуту, между тѣмъ какъ въ прежнее время это число было гораздо меньше. Насосы работаютъ также и со 100 двойными ходами (оборотами) въ минуту. Большое число оборотовъ при плавномъ ходѣ клапановъ имѣетъ уже то неоспоримое преимущество, что большіе тихоходные насосы для б о л ь ш и х ъ н а п о р о в ъ требуютъ крупныхъ размѣровъ и большой силы, а также весьма прочныхъ клапанныхъ коробокъ, которыя при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ бываетъ

невозможно изготовлять съ надлежащей для правильнаго дѣйствія прочностью, какъ мы объ этомъ упомянули выше. Поэтому насосный кривошипъ во многихъ случаяхъ не соединяется непосредственно, безъ промежуточной передачи, съ тихо вращающимся валомъ водяного колеса. При турбинахъ условія оказываются уже гораздо благопріятнѣе. Съ другой стороны тихоходные насосы менѣе зависимы отъ устройства клапановъ и легче работаютъ безъ ударовъ; затѣмъ не подлежитъ сомнѣнію, что съ меньшей скоростью идетъ рука объ руку и долговѣчность сооруженія. Такимъ образомъ при небольшихъ напорахъ можно отдавать преимущество непосредственной передачѣ силы къ водоподъемной машинѣ даже отъ тихо вращающихся валовъ водяныхъ колесъ.



Планъ.



Фиг. 194

Считаемъ нелишнимъ привести здѣсь нѣсколько взятыхъ изъ практики примѣровъ посредственной и непосредственной передачъ водяной силы къ водоподъемнымъ машинамъ; о гидравлическихъ таранахъ и водостолбовыхъ машинахъ будетъ сказано ниже.

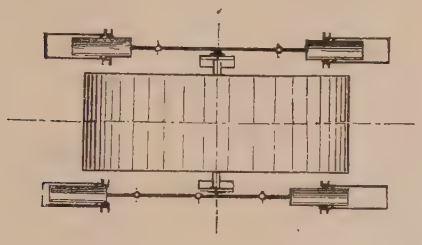
На фиг. 194 изображенъ водяной двигатель съ приводомъ для находящихся въ Бергѣ насосовъ Штуттгартскаго водоснабженія. При полезномъ паденіи 1,8 метр. количество имѣющейся въ распоряженіи рабочей воды составляетъ 8,50 куб. метр. въ секунду. Работа этой воды распредѣлена на 4 одинаковыхъ подливныхъ колеса съ лопатками, діам. которыхъ составляетъ по 5 метр., и которыя получаютъ воду изъ водослива шир. 4 метр. Колеса вращаются въ круговыхъ руслахъ изъ тесанаго камня и даютъ полезное дѣйствіе въ 65%. Деревянныя лопатки колеса съ обѣихъ сторонъ ограничены желѣзными дисками, къ которымъ приклепаны зубчатые ободья діам. 4,2 метр., сцѣпляющіеся съ небольшимъ зубчатымъ колесомъ. Послѣднее дѣлаетъ 22 оборота въ минуту, а водяныя колеса работаютъ съ нормальной скоростью 5,5 оборотовъ въ минуту, такъ что отношеніе передачи составляетъ 1 : 4 и соотвѣтствуетъ отношенію діаметровъ зубчатыхъ колесъ съ обѣихъ сторонъ каждаго колеса. Шестерни или меньшія зубчатыя колеса непосредственно передаютъ работу расположеннымъ по обѣимъ сторонамъ насосамъ двойного дѣйствія съ цилиндрами діам. 800 милим., ходомъ поршней 660 милим. и высотой подъема 83 метр. Водяныя колеса и насосы установлены въ просторномъ хорошо выстроенномъ зданіи длин. 3,64 метр. и шир. 12,5 метр.

Измѣренія, произведенныя 8 Сентября 1882 г., показали, что всѣ восемь насосовъ доставляютъ въ резервуаръ 343,4 куб. метр. въ часъ, производя при высотѣ подъема въ 83 метр. работу въ 28502000 килограммо-метр. въ часъ или 7917 килогр.-метр. въ секунду, что составляетъ около 106 паров. лош. Опытомъ не было установлено, что количество воды дѣйствительно равно 8,5 куб. метр. въ секунду; допуская этотъ притокъ рабочей воды и принимая, какъ приведено выше, величину η въ 0,65, получимъ:

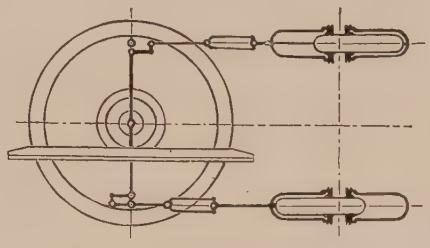
теоретическій запасъ работы воды $\frac{8500 \cdot 1{,}8}{75} = 204$ лош. с.,

и развиваемую на валу силу $0{,}65 \cdot 204 = 133$ „ „

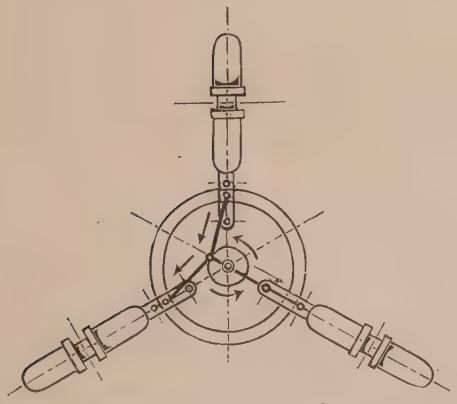
почему $\varepsilon = \frac{106}{133} = 0{,}80$, а слѣд. $\varepsilon\eta$ (по нашимъ формуламъ) будетъ $= 0{,}58$.



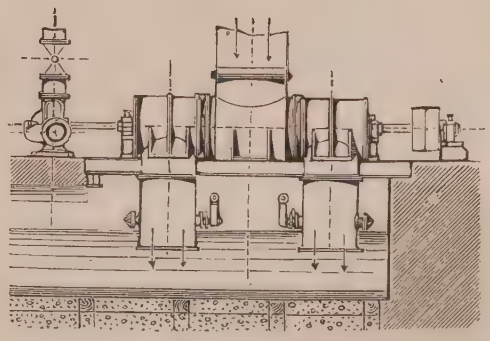
Фиг. 195.



Фиг. 197.



Фиг. 196.



Фиг. 198.

Непосредственная передача работы отъ вала помощью кривошиповъ къ насосамъ устроена въ установленныхъ въ Марли (Парижѣ) среднеподливныхъ колесахъ. Это устройство показано на фиг. 195. Каждое изъ большихъ колесъ приводитъ въ движеніе 4 насоса простого дѣй-

ствія помощью насаженныхъ на валу кривошиповъ съ соотвѣтствующими шатунами. Подобное же устройство находится въ водоподъемахъ St. Maur и Isles les Meldeuses.

Такъ же просто производится непосредственная передача силы отъ вертикальныхъ турбиныхъ валовъ. Въ этомъ случаѣ, показанномъ на фиг. 196, отъ вала помощью кривошиповъ приводятся въ движеніе два, три или четыре насоса. Одно изъ огромныхъ сооруженій этого рода съ двумя насосами на каждомъ валу устроено въ Женевѣ. Подобное же сооруженіе съ 4-мя насосами устроено для водоснабженія замка Фриденштейнъ въ Готѣ.

Передачи силы отъ турбинъ помощью передаточныхъ приводовъ встрѣчаются сравнительно чаще, преимущественно въ старыхъ сооруженіяхъ, въ которыхъ допускалось только весьма медленное движеніе насосовъ. На фиг. 197 изображено подобное устройство, примѣненное въ водоподъемныхъ машинахъ St. Maur (Парижѣ). Каждая турбина помощью коническихъ зубчатыхъ колесъ приводитъ въ движеніе горизонтальный валъ, отъ котораго уже помощью кривошиповъ работа передается двумъ горизонтальнымъ насосамъ Жирара. Подобныя же сооруженія находятся въ водопроводахъ городовъ Аугсбурга, Регенсбурга и др. О происходящихъ при всѣхъ подобныхъ передачахъ потеряхъ работы рѣдко получаются какія-либо правильныя свѣдѣнія, такъ какъ обмѣръ количества рабочей воды обыкновенно даетъ результаты, колеблющіеся въ весьма широкихъ предѣлахъ.

Въ случаяхъ большихъ паденій и устройства турбинъ съ горизонтальными валами, какъ показано на фиг. 198, передача работы бываетъ значительно легче. Подобныя турбины преимущественно весьма удобны для приведенія въ движеніе центробѣжныхъ или вращательныхъ насосовъ; точно также весьма удобно можетъ быть устроена ременная передача или передача помощью кривошиповъ къ горизонтальнымъ или вертикальнымъ насосамъ, причемъ устраняется грохотъ отъ зубчатой передачи и другія сопряженныя съ ней неудобства.

Само собой разумѣется, что раньше устройства сооруженія съ водяной силой можетъ оказаться необходимымъ тщательно взвѣсить и убѣдиться, дѣйствительно ли эта двигательная сила оказывается наиболѣе раціональной при всѣхъ данныхъ другихъ обстоятельствахъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣющаяся въ виду для дѣйствія двигателя вода выше и ниже даннаго мѣста приводитъ въ движеніе еще и другіе двигатели, весьма важную роль играетъ опредѣленіе происходящихъ вслѣдствіе этого неправильностей. Въ тѣхъ случаяхъ, когда безусловно требуется предупредить всякій перерывъ водоснабженія, большіе водоподъемныя машины, двигатели которыхъ приводятся въ движеніе рѣчной водой, должны быть снабжены запасными паровыми или другими двигателями, замѣняющими водяные при сильныхъ морозахъ или во время половодья. Точно также водяные и паровые двигатели должны совмѣстно работать весь годъ, если уже сначала или по прошествіи нѣкотораго времени водяная сила оказывается недостаточной. Въ такихъ и подобныхъ случаяхъ весьма раціонально будетъ сообразить, — принимая, конечно, во вниманіе стоимость пріобрѣтенія водяной силы, устройства всего сооруженія и эксплотаціи — не окажется ли дешевле перейти къ одной какой-либо силѣ, напр. паровой или другой.

Паровая сила. Правильно используемая теплотворная способность топлива для образованія пара высокаго давленія и примѣненіе послѣдняго для двигательныхъ цѣлей въ многихъ случаяхъ оказывается дешевымъ, удобнымъ и весьма распространеннымъ способомъ производства работы. Для примѣненія этой работы къ водоподъемнымъ машинамъ въ большей части случаевъ употребляются паровыя машины. Здѣсь считаемъ нелишнимъ присовокупить, что преимущество этого способа въ смыслѣ его дешевизны свойственно только тѣмъ устройствамъ, которыя требуютъ небольшого расхода топлива на каждую единицу работы, и что въ громадномъ числѣ существующихъ устройствъ эти основныя условія не приняты въ разсчетъ.

При примѣненіи паровой силы для дѣйствія водопроводовъ обыкновенно поручаютъ устройство всего сооруженія, какъ-то котловъ, машинъ и насосовъ, одному лицу; этотъ способъ имѣетъ то преимущество, что предприниматель въ извѣстныхъ предѣлахъ гарантируетъ общее полезное дѣйствіе всей системы, если только онъ не ограниченъ различными ненужными или даже прямо вредными требованіями и предписаніями. Количество работы, производимой 1 килогр. опредѣленнаго сорта промышленнаго топлива, выражается въ килограммо-метрахъ или лошадиныхъ силахъ и измѣряется произведеніемъ изъ количества поднимаемой воды на опредѣляемую вышеуказаннымъ путемъ теоретическую высоту подъема. Средняя работа въ килограммо-метрахъ, всегда получаемая отъ 1 килогр. хорошаго каменнаго угля, при соотвѣтствующихъ нынѣшнему состоянію машиностроительной техники водоподъемныхъ сооруженіяхъ, можетъ считаться:

1. При большихъ сооруженіяхъ (100 лош. с. и больше) . . . 225,000—270,000
2. При среднихъ сооруженіяхъ (отъ 25 до 100 лош. с.) . . . 108,000—225,000
3. При малыхъ сооруженіяхъ (до 25 лош. сил.) . . . . . 67,500—108,000

т. е. въ часъ на 1 лошад. силу потребно: въ большихъ сооруженіяхъ отъ 1,0 до 1,2 килогр., въ среднихъ отъ 1,2 до 2,5 килогр., а въ малыхъ отъ 2,5 до 4 килогр. хорошаго каменнаго угля (исключительная производительность при испытаніи машины постоянно оказывается больше).

Относительно использованія теплотворной способности топлива слѣдуетъ замѣтить, что при нынѣшнемъ состояніи техники оно происходитъ весьма несовершенно. Такъ, напр., количество теплоты, развиваемой при сгораніи 1 килогр. каменнаго угля (теплотворная способность при совершенномъ горѣніи въ атмосферномъ воздухѣ) составляетъ 8000 калорій. Такъ какъ каждая единица теплоты эквивалентна 424 килограммо-метр. (см. ниже, отд. IV гл. 4), то абсолютная работоспособность 1 килогр. каменнаго угля составляетъ 8000.424 = 3920000 килограммо-метр. Но при самыхъ лучшихъ водоподъемныхъ машинахъ, какъ мы видѣли выше, при примѣненіи паровой силы для подъема воды 1 килогр. угля развиваетъ только 270000 килограммо-метровъ, такъ что въ наивыгоднѣйшемъ случаѣ эффектъ составляетъ 270 : 3392=0,08. То же самое имѣетъ мѣсто и при другихъ родахъ топливъ.

Теплотворная способность различныхъ родовъ топливъ сама по себѣ и въ сравненіи съ хорошимъ каменнымъ углемъ, удѣльные вѣса, остатки послѣ сгоранія и т. д. приведены въ слѣдующей таблицѣ:

Родъ топлива.	Вѣсъ 1 куб. метра въ килогр.	Теплотворная способность 1 килогр. въ калоріяхъ.	Остатка (золы) на 1 килогр. топлива.	Отношеніе теплотворной способности къ хорошему углю.
Нефть	700—750	11400	сажа	1,34
Свѣтильный газъ . .	0,696	10600	сажа	1,33
Хорошій камен. уголь	800—880	8000	0,040	1,00
Антрацитъ	900	8000	0,040	1,00
Древесный уголь . .	230—250	7500	0,070	0,94
Коксъ	400—450	7100	0,120	0,89
Сухой каменный уголь	750	7000	0,050	0,88
Торфяной уголь . .	200—350	6500	0,200	0,81
Сушеныя дрова . .	350	3750	0,050	0,47
Торфъ	250—400	3600—5000	0,060—0,080	0,45—0,63
Бурый уголь	800—850	3600	0,050	0,45
Сухія (высушенныя на воздухѣ) дрова . .	450	2900	0,040	0,41

Для достиженія приведенныхъ величинъ производительности въ паровыхъ насосахъ необходимо должны быть выполнены нѣкоторыя побочныя условія, напр., значительное расширеніе пара, высокая допускаемая упругость и т. д., а главнѣе всего требуется хорошій уходъ за всѣмъ сооруженіемъ, какъ-то: внимательное отопленіе котла, хорошее содержаніе машины, правильная смазка, устраненіе всякихъ потерь пара безъ образованія значительныхъ сопротивленій въ сальникахъ и проч., и проч.

Вообще необходимо различать обыкновенные имѣющіеся въ продажѣ насосы для небольшихъ сооруженій отъ насосовъ для среднихъ и большихъ насосныхъ станцій. Въ то время, какъ первые могутъ быть выбраны по существующимъ чертежамъ и подогнаны къ каждому отдѣльному случаю, большіе насосы требуютъ особыхъ конструкцій. Самому изготовлять подобные насосы или указать ихъ конструкцію не рекомендуется; цѣлесообразнѣе всего будетъ предоставить ихъ изготовленіе крупному машиностроительному заводу по кондиціямъ, заключающимъ въ себѣ необходимыя въ каждомъ данномъ случаѣ особыя указанія. Прежде всего необходимо рѣшить вопросъ, между сколькими отдѣльными машинами или группами машинъ распредѣлить работу по подъему воды (нормальную работу), въ какое время онѣ должны развивать требуемую производительность, и какое возможно въ будущемъ повышеніе ихъ производительности (наибольшая производительность). Затѣмъ необходимо опредѣлить сортъ топлива, которымъ имѣется въ виду отопливать котелъ; дрова, торфъ, нефть, бурые угли и т. д. требуютъ совершенно другихъ котловъ и другихъ топокъ, нежели каменный уголь. Каменные угли сами по себѣ тоже весьма различны; напр., жирные угли легко спекаются, тощіе угли не спекаются между собой и т. д. При конструированіи котла и топки необходимо принять въ соображеніе всѣ эти обстоятельства. Наконецъ, необходимо также опредѣлить давленіе пара въ котлѣ или допускаемое начальное давленіе въ машинѣ.

На выборъ системы котла большое вліяніе оказываютъ имѣющееся въ распоряженіи мѣсто для постановки котла, а также и свойства питательной воды. Независимо отъ этихъ условій, которыя въ общемъ не могутъ быть здѣсь разобраны, но которыя могутъ быть удовлетворены различнымъ путемъ, намъ кажется цѣлесообразнымъ для давленія пара отъ 6 до 7 атмосф. и меньше, при постоянной работѣ водопровода примѣнять по возможности простые котлы съ кипятильниками, а также съ одной или двумя жаровыми трубами. Эти котлы содержатъ въ себѣ большіе запасы воды и пара и при неособенно внимательномъ уходѣ (преимущественно при работѣ днемъ и ночью) не представляютъ такой опасности, какъ трубчатые котлы. Кромѣ того, уходъ за такими котлами и чистка ихъ гораздо легче. Если работа производится только днемъ (12 до 14 часовъ), то весьма цѣлесообразно устроить вмазку котла съ толстыми стѣнами для лучшаго сохраненія теплоты котла. Въ случаѣ высокаго давленія пара, а также, если отъ котла требуется способность къ быстрому парообразованію при усиленіи работы, должны быть выбраны комбинированные или трубчатые котлы. Число системъ котловъ и топокъ настолько велико, что мы здѣсь не можемъ входить въ ихъ описаніе.

Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда обращаютъ вниманіе на небольшой расходъ топлива, необходимо считать отъ 1,5 до 2 квадр. метр. поверхности нагрѣва котла на 1 лошад. силу полезной работы машины, или отъ 2 до 3 квадр. метр. поверхности нагрѣва на 1 лошад. силу полезнаго дѣйствія, измѣряемаго, согласно ур. 5, по количеству поднимаемой воды.

Въ большой части случаевъ необходимо задавать положеніе пола машиннаго помѣщенія и пространство, въ которомъ должны быть помѣщены машинная комната и котельное помѣщеніе. Само собой разумѣется, необходимо точно опредѣлить высоты всасывающаго уровня воды при различныхъ расходахъ, а также, будетъ ли машина работать съ конденсаціей пара и будетъ ли употреб-

ляться для конденсаціи вода, служащая для водоснабженія, или какая-либо другая вода, причемъ необходимо должны быть произведены наблюденія надъ температурой назначенной для употребленія воды.

Высокое давленіе пара въ котлѣ и конденсація отработавшаго пара доставляютъ болѣе выгодное использованіе теплотворной способности топлива [1]) въ сравненіи съ примѣненіемъ машины безъ охлажденія и низкихъ давленій пара. Поэтому въ компаундъ-машинахъ съ 2-мя или 3-мя цилиндрами всегда примѣняютъ конденсацію пара и давленія въ котлѣ 6—8 атм. и болѣе. Въ небольшихъ машинахъ, какъ показали опыты, конденсація въ рѣдкихъ случаяхъ оказывается выгодной въ экономическомъ отношеніи, и поэтому въ подобныхъ случаяхъ можно рекомендовать примѣненіе обыкновенныхъ машинъ безъ охлажденія и болѣе низкихъ давленій пара.

Обыкновенно опредѣляется также діаметръ паропроводовъ. Наконецъ, необходимо также опредѣлить передачу силы отъ пароваго двигателя къ насосу. Это опредѣленіе имѣетъ весьма большое вліяніе на стоимость сооруженія; если упустить это обстоятельство изъ виду при заказѣ машинъ машиностроительному заводу, то послѣдній во многихъ случаяхъ не станетъ примѣнять лучшихъ конструкцій изъ-за ихъ дороговизны. Поэтому слѣдуетъ руководствоваться условіями, имѣющими мѣсто въ наилучшихъ устройствахъ, не ставя на первомъ планѣ цѣны, или же въ кондиціи слѣдуетъ включать условія, соотвѣтствующія всякому данному отдѣльному случаю.

При выборѣ водоподъемныхъ машинъ для водоснабженія прежде всего приходится принципіально рѣшить вопросъ, какимъ машинамъ отдать предпочтеніе: машинамъ ли съ маховиками, или же машинамъ прямого дѣйствія (безъ вращающихся валовъ), такъ какъ другія водоподъемныя машины, какъ напр. паростру̀йные насосы, пульзометры, діафрагмовые насосы и проч., вслѣдствіе происходящаго при ихъ дѣйствіи нагрѣванія воды, съ успѣхомъ примѣняются только на желѣзнодорожныхъ станціяхъ, въ баняхъ, прачешныхъ или для временныхъ работъ по подыманію воды, но для городскаго водоснабженія никогда не употребляются.

Машины прямого дѣйствія (преимущественно Вортингмона) несомнѣнно представляютъ собой хорошій типъ машинъ и находятъ себѣ обширное примѣненіе; но опытъ показываетъ, что онѣ при равномѣрной или колеблющейся въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ производительности не имѣютъ никакихъ особенныхъ преимуществъ предъ хорошими машинами съ маховиками; въ большинствѣ случаевъ онѣ не дешевле послѣднихъ и требуютъ замѣтно большаго расхода пара (т. е. вызываютъ болѣе значительную стоимость работы). Опредѣленіе Ридлера о превышеніи расхода пара въ этихъ машинахъ на 25 до 50% относительно расхода въ машинахъ съ маховиками можетъ въ данномъ случаѣ считаться весьма умѣреннымъ. Но съ другой стороны машины прямого дѣйствія, преимущественно компаундъ съ двумя цилиндрами, допускаютъ помимо наибольшей и нормальной своей работы, по желанію, и болѣе медленный ходъ при болѣе благопріятныхъ условіяхъ работы, нежели машины съ маховиками, при сравнительно меньшемъ расходѣ пара, между тѣмъ какъ послѣднія машины правильно работаютъ только при измѣняющейся въ тѣсныхъ предѣлахъ работы. Кромѣ того, машины прямого дѣйствія имѣютъ еще то преимущество, что требуютъ весьма легкихъ фундаментовъ, и такъ какъ при ихъ работѣ нѣтъ такъ называемыхъ мертвыхъ точекъ, то онѣ могутъ быть регулируемы изъ отдаленнаго мѣста. Такъ какъ эти машины обладаютъ еще компактностью и занимаютъ мало мѣста, то примѣненіе ихъ въ отдѣльныхъ случаяхъ бываетъ весьма умѣстно (какъ напр. для колодцевыхъ насосовъ) при ограниченномъ пространствѣ машиннаго помѣщенія, при плохомъ грунтѣ и т. д.

Машины съ маховиками (машины съ кривошипами и съ вращающимися валами) имѣютъ совершенно точное ограниченіе хода поршня и правильное надежное парораспредѣленіе. и при постоянной работѣ въ нихъ происходитъ болѣе сильное расширеніе пара, а слѣд. и лучшее использованіе силы пара. Соотвѣтствующія дѣйствію кривошипа измѣненія скоростей поршня, повышающихся отъ нуля до нѣкотораго максимума и затѣмъ опять понижающихся до нуля, даютъ весьма благопріятныя соотношенія ускореній; правильно построенные воздуш-

[1]) Извѣстно, что количество топлива, потребное для обращенія извѣстнаго количества воды въ паръ, почти независимо отъ давленія послѣдняго.

ные котлы (неизбѣжные и при насосахъ прямого дѣйствія) значительно уменьшаютъ вредное вліяніе поперемѣннаго движенія водяныхъ массъ. Къ недостаткамъ этихъ машинъ относятся: значительный вѣсъ вращающихся частей и принадлежностей, большія пространства, требуемыя машинами, и болѣе дорогіе фундаменты, потери работы, вызываемыя вѣсомъ маховика и регулирующимъ его дѣйствіемъ, и, наконецъ, болѣе высокая начальная стоимость машинъ. Послѣднее обстоятельство при нѣкоторыхъ условіяхъ является рѣшающимъ моментомъ, такъ какъ въ немъ суммируются всѣ остальныя. Но если эти машины должны работать съ болѣе высокими скоростями, то для постоянной работы онѣ почти безъ исключенія не дороже машинъ прямого дѣйствія, обладая предъ послѣдними весьма большимъ преимуществомъ, состоящимъ въ меньшемъ расходѣ пара, а слѣд. и меньшей стоимости дѣйствія.

Впрочемъ, не слѣдуетъ упускать изъ виду, что и въ машинахъ прямого дѣйствія (съ 2-мя, 3-мя, 4-мя цилиндрами) существуетъ необходимость въ уравновѣшиваніи движущихся массъ, удовлетворяемая устройствомъ регулирующаго или уравновѣшивающаго цилиндра.

Весьма часто встрѣчается способъ непосредственной передачи силы отъ паровыхъ машинъ съ маховиками къ водоподъемнымъ машинамъ (т. е. безъ посредства промежуточныхъ приводовъ, шестеренъ и проч.); при этомъ оси пароваго и водяного поршней располагаются по одной линіи, и оба поршня имѣютъ одинаковый ходъ. Но этому устройству до послѣдняго времени не благопріятствовало то обстоятельство, что наивыгоднѣйшая скорость пароваго поршня значительно больше допускаемой при настоящемъ состояніи техники скорости водяного поршня для достиженія плавнаго движенія клапановъ и избѣжанія слишкомъ большихъ колебаній напора. Этимъ обстоятельствомъ объясняется неохотное примѣненіе этой системы передачи къ насосамъ. Но эта цѣль постепенно начинаетъ достигаться безопаснымъ увеличеніемъ скорости поршня и числа оборотовъ безъ образованія сильныхъ колебаній напора, причемъ скорость водяного поршня постепенно приближается къ скорости парового; успѣхами въ этомъ дѣлѣ техника много обязана Ридлеру. Этотъ авторъ признаетъ совершенно понятнымъ установленіе меньшей скорости пароваго поршня, т. е. рабочей скорости, меньшей въ сравненіи съ наивыгоднѣйшей скоростью, въ тѣхъ случаяхъ, когда всѣ другія обстоятельства благопріятствуютъ непосредственному соединенію парового и водяного поршня.

Особыя преимущества непосредственной передачи силы замѣчаются въ тѣхъ случаяхъ, когда оси поршней расположены по одной горизонтальной линіи, такъ какъ приэтомъ получается доступная со всѣхъ сторонъ и уравновѣшенная машина. Но подобное расположеніе возможно лишь тогда, когда вертикальное разстояніе наиболѣе низкаго уровня всасыванія отъ нижняго края напорнаго клапана, сложенное съ высотой сопротивленія во всасывающемъ трубопроводѣ, не превышаетъ 7 или 8 метр.

Для небольшихъ сооруженій обыкновенно примѣняются одноцилиндровыя паровыя машины съ расширеніемъ пара и съ начальнымъ давленіемъ въ 5—6 атмосф. Такъ какъ простота устройства сама по себѣ представляетъ собой важный факторъ, то при небольшихъ сооруженіяхъ получаемое въ этомъ отношеніи преимущество почти безъ исключенія превышаетъ недостатокъ, выражающійся въ потерѣ пара, которая при небольщихъ скоростяхъ поршня или въ тихоходныхъ насосахъ вообще бываетъ довольно велика и происходитъ вслѣдствіе значительнаго расхода силы (пара) на ускореніе воды. Впрочемъ и небольшіе на сосыдо пускаютъ относительно наибольшія скорости поршня и числа оборотовъ.

Начиная съ извѣстнаго предѣла (при среднихъ сооруженіяхъ), преимущества отдаютъ двухцилиндровымъ паровымъ машинамъ или машинамъ двойного расширенія (Вульфа, компоундъ) съ давленіемъ пара въ котлѣ въ 6—8 атмосферъ. Машины Вульфа съ цилиндрами, расположенными другъ за другомъ (по одной оси), въ настоящее время употребляются не такъ часто, какъ въ прежнее время; наиболѣе часто въ настоящее время употребляется система съ двумя рядомъ расположенными паровыми насосами съ цилиндрами высокаго и низкаго давленія, соединенными съ однимъ главнымъ валомъ, на которомъ кривошипы сидятъ подъ угломъ въ 90° (а иногда и 180°) другъ къ другу. Дѣйствіе пара при этомъ происходитъ весьма выгодно, такъ какъ паръ расширяется послѣдовательно въ обоихъ цилиндрахъ. Напряженія отдѣльныхъ частей машины получается меньшее, чѣмъ въ машинѣ съ однимъ цилиндромъ и съ той же степенью расширенія, и та же степень равномѣрности можетъ быть достигнута помощью болѣе легкаго маховика. Но сама машина, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, постоянно бываетъ дороже.

Еще болѣе дорогія машины тройного расширенія (съ 3-мя цилиндрами) должны быть примѣнены только для большихъ сооруженій (выше 100 лош. силъ) при существованіи

высокой упругости пара (выше 8 атм.). Само собой разумѣется, что эти машины даютъ еще болѣе выгодную работу пара, нежели машины съ 2-мя цилиндрами, но эта выгода не настолько значительна, насколько это можно себѣ представить по предложеніямъ фабрикантовъ, изготовляющихъ эти машины. Преимущественно при небольшихъ и среднихъ сооруженіяхъ опытъ показываетъ, что даже при высокомъ давленіи пара преимущества этихъ машинъ вполнѣ парализуются ихъ высокой начальной стоимостью и дороговизной ихъ обслуживанія.

Въ Англіи и Америкѣ для глубоко расположенныхъ или назначенныхъ для накачиванія грязныхъ водъ насосовъ въ послѣднее время часто устраиваются паровыя машины съ маховиками, при которыхъ общая ось обоихъ цилиндровъ, парового и водяного, расположены на одной вертикальной линіи. Меньшія машины подобнаго рода очень часто встрѣчаются также и въ другихъ мѣстахъ. Ко всѣмъ этимъ машинамъ примѣнимы вышеприведенныя разсужденія относительно простого, двойного и тройного расширенія, а также и относительно насосовъ прямого дѣйствія; необходимо только замѣтить, что хотя подобныя машины компактнѣе и занимаютъ меньше площади пола, но онѣ дороже и менѣе доступны во всѣхъ своихъ частяхъ, нежели горизонтально расположенныя машины. Кромѣ того, вслѣдствіе дѣйствія качающихся массъ эти машины требуютъ другого регулированія. Мы еще разъ вернемся къ этому ниже.

Помимо непосредственной передачи силы въ горизонтальной или вертикальной общей осевой линіи существуетъ еще огромное число посредственныхъ или промежуточныхъ передачъ: помощью балансировъ, зубчатыхъ колесъ, ременныхъ приводовъ, колѣнчатыхъ рычаговъ и т. д. Здѣсь неумѣстно останавливаться на описаніи всѣхъ этихъ передачъ, нѣкоторыя изъ коихъ будутъ нами приведены ниже. Здѣсь считаемъ только нужнымъ замѣтить, что не слѣдуетъ a priori отказаться отъ той или другой системы передачи. Очень часто при наличности всѣхъ предварительныхъ условій для горизонтальной непосредственной передачи одна изъ этихъ системъ передачи вполнѣ можетъ удовлетворять цѣли при всѣхъ обстоятельствахъ. Во многихъ случаяхъ эта система передачи по разнымъ обстоятельствамъ оказывается невозможной, напр., при глубокомъ залеганіи уровня всасыванія, сильныхъ колебаніяхъ этого уровня, при ограниченной площади зданія и т. д.

Само собой разумѣется, что поперемѣнно-качательное движеніе отъ паровой машины можетъ быть передано и вращающимся насосамъ.

Во всѣхъ паровыхъ водоподъемныхъ устройствахъ обыкновенно принимаютъ въ соображеніе возможность дальнѣйшаго увеличенія ихъ производительности впослѣдствіи, для чего (при паровыхъ машинахъ съ маховиками) слѣдуетъ предвидѣть возможность увеличенія числа оборотовъ или же (при машинахъ прямого дѣйствія) строятъ машину съ самаго начала для большей производительности. Въ обоихъ случаяхъ наивыгоднѣйшая работа машины получается при нормальномъ ея дѣйствіи. Отношеніе между нормальной и максимальной производительностью обыкновенно принимается 2:3, если это отношеніе не задано на основаніи другихъ соображеній.

Предубѣжденія противъ опредѣленной системы машинъ, напр., противъ машинъ съ простымъ расширеніемъ, промежуточной передачи силы, балансирныхъ машинъ и проч. одинаково мало могутъ быть оправданы, какъ и безусловное предпочтеніе непосредственнаго соединенія пароваго и водяного поршней, двойное или тройное расширеніе пара для всѣхъ случаевъ, или какъ выборъ одного какого-либо общаго типа всѣхъ водоподъемныхъ машинъ для водоснабженія. Каждый отдѣльный случай долженъ быть разобранъ отдѣльно. Инженеру-строителю иногда весьма трудно правильно ориентироваться среди множества предложеній, и въ этомъ случаѣ весьма полезенъ бываетъ совѣтъ хорошаго конструктора, который, конечно, въ то же время не является представителемъ одного изъ конкурирующихъ заводовъ.

Что касается стоимости паровыхъ насосовъ, то она, независимо отъ избранной конструкціи, зависитъ также отъ случайныхъ совпаденій обстоятельствъ на торговомъ рынкѣ. Отнесенная къ единицѣ работы, цѣна нѣсколько умень-

шается съ увеличеніемъ размѣровъ сооруженія. Что же касается общей оцѣнки, то въ среднемъ можно принять, что стоимость k парового насоса существующаго на рынкѣ устройства, считая сюда котелъ, двигатель и насосъ вмѣстѣ съ трубопроводами по машинному помѣщенію и гарнитурой, но безъ зданія и фундамента, составляетъ:

$$k = N\left(450 + \frac{30000}{N + 20}\right) \text{ марокъ},$$

гдѣ N обозначаетъ опредѣленную по ур. 5 полезную производительность машины по количеству подымаемой воды. Балансирныя машины и вертикальныя системы значительно дороже. Цѣны нѣсколько понижаются при быстроходныхъ машинахъ и нѣсколько повышаются при очень тихоходныхъ. При вычисленіи стоимости дѣйствія машинъ не слѣдуетъ упускать изъ виду необходимую иногда предварительную очистку питательной воды. Проценты и амортизація для насосовъ и машинъ должны быть приняты около 7 до 8%, а для котловъ отъ 10 до 11% со включеніемъ сюда стоимости содержанія, запасныхъ частей, обновленій топочной рѣшетки и проч.

Такъ называемыя дешевыя предложенія никогда не заслуживаютъ довѣрія. На общую стоимость водоподъемнаго сооруженія весьма большое вліяніе имѣетъ стоимость требуемаго зданія, фундаментовъ подъ машины, котлы и проч. Впрочемъ, вопросъ заключается не въ начальной стоимости сооруженія, а въ стоимости дѣйствія, и главнымъ образомъ въ гарантируемомъ расходѣ топлива.

Газовые двигатели (керосиновые двигатели). Смѣсь изъ 1 объема свѣтильнаго газа и 4 объемовъ воздуха начинаетъ горѣть, развивая извѣстное давленіе, и перестаетъ быть воспламеняемой при отношеніи объемовъ 1 : 12, при нормальномъ атмосферномъ давленіи. Между этими передѣлами лежитъ соотношеніе частей смѣси, требуемой для полнаго сгоранія свѣтильнаго газа, такъ называемой наиболѣе сильной смѣси, которая вообще различна для различныхъ родовъ свѣтильнаго газа и въ среднемъ можетъ быть принята въ 1 объемъ газа на $5^1/_2$ объемовъ воздуха. Сжатіемъ газовой смѣси до ея воспламененія увеличивается развиваемое ею давленіе въ теченіе горѣнія.

На этихъ свойствахъ основано примѣненіе газа для двигательныхъ цѣлей. Практическими опытами было дознано, что наилучшій экономическій результатъ достигается при отношеніяхъ частей смѣси отъ 1 : 6 до 1 : 7. Устройство приспособленій для пользованія силой взрыва газовой смѣси въ качествѣ двигательной силы предполагается извѣстнымъ читателю.

Въ настоящее время преимущественно обширное примѣненіе нашли себѣ такъ называемыя четырехъ-тактныя машины съ золотниковыми или трубчато-калильными зажигателями, которыя строятся разныхъ величинъ отъ $^1/_4$ до 200 лошад. силъ. Расходъ газа на 1 лош. силу въ часъ (получаемое тормаженіемъ на главномъ валу) для небольшихъ двигателей въ среднемъ составляетъ 1,2 куб. метр., для среднихъ 1 куб. метр., а для большихъ 0,8 куб. метр. Но существуютъ машины, въ которыхъ расходъ газа бываетъ меньше, а именно 0,627 куб. метр. въ часъ на 1 лошад. силу. Въ виду сравнительной новизны этихъ машинъ и зависимости ихъ качествъ отъ опытности строителей, можно рекомендовать при заказѣ мотора держаться только извѣстныхъ выдающихся фирмъ, не прельщаясь дешевизной моторовъ другихъ менѣе надежныхъ фирмъ. Съ постановкой газовыхъ двигателей сопряженъ проводъ охлаждающей воды, расходъ которой

въ среднемъ составляетъ отъ 35 до 40 литр. въ часъ 1 лошад. силу, при температурѣ поступающей воды въ 12° С., а выходящей въ 60° С. Такимъ образомъ при сравненіи стоимости сооруженія, кромѣ цѣны самого двигателя, необходимо еще принять въ разсчетъ стоимость провода и отвода воды, провода воздуха въ камеру машины и, конечно, провода газа съ контрольнымъ приборомъ и регуляторомъ, а также и стоимость выпускного провода, фундамента, установки и проч.

Дѣйствіе этихъ машинъ въ общемъ весьма просто, и это составляетъ одно изъ главныхъ преимуществъ газовыхъ двигателей для водопроводовъ. Хорошіе двигатели, кромѣ того, требуютъ не больше 1 до 2 часовъ работы ежедневно для ихъ чистки. Износъ двигателей при хорошемъ уходѣ даетъ амортизацію въ 10%, а при болѣе небрежномъ уходѣ около 15% стоимости. Расходъ смазочнаго матеріала и обтирочнаго матеріаловъ настолько разнообразенъ, что трудно здѣсь привести какія-либо точныя данныя; въ небольшихъ двигателяхъ стоимость смазки и ухода составляетъ отъ 0,50 до 1 марки (25—50 коп.) въ день на 1 лош. силу.

При правильныхъ устройствахъ и при отсутствіи зубчатыхъ и т. под. передачъ приводимыя въ движеніе газомъ водоподъемныя машины работаютъ почти безъ шума, безопасно и довольно надежно. Прекращеніе дѣйствія вообще можетъ произойти отъ сильнаго измѣненія давленія газа, при порчахъ газгольдера, отъ неплотностей поршня и засоренія золотниковъ, отъ неплотныхъ впускныхъ и выпускныхъ клапановъ, отъ скопленія воды въ выпускной камерѣ, отъ неправильнаго зажиганія и т. д. Точно также потери работы происходятъ при недостаточной подвижности регулятора, опоздывающемъ воспламененіи, неисправностяхъ въ камерѣ для смѣшиванія и т. д. Подобныя же явленія, впрочемъ, отъ подобныхъ же причинъ происходятъ и въ другихъ двигателяхъ, и для предупрежденія этихъ недостатковъ, какъ тамъ, такъ и здѣсь требуется только внимательный уходъ за двигателями.

Газовые двигатели строятся горизонтальные и вертикальные; послѣдніе примѣняются при ограниченномъ пространствѣ, предназначенномъ для водоподъемнаго сооруженія. Эти двигатели обыкновенно работаютъ со скоростями отъ 140 до 200 оборотовъ въ минуту. Для водоподъемныхъ машинъ непосредственная передача отъ этихъ машинъ оказывается возможной въ исключительныхъ только случаяхъ (если требуются большія количества воды при небольшихъ высотахъ поднятія, а слѣд. допускается примѣненіе вращательныхъ или центробѣжныхъ насосовъ, или же, если имѣютъ дѣло съ поршневыми насосами, доставляющими небольшія количества воды на большія высоты). Такъ какъ газовыя машины имѣютъ такое же поперемѣнно-качательное движеніе, какъ и паровыя машины, то передача силы отъ нихъ водоподъемнымъ машинамъ можетъ быть произведена такимъ же путемъ, какъ отъ паровыхъ машинъ (ременной, канатной передачей и проч.). Цѣны газовыхъ двигателей различны въ зависимости отъ ихъ качествъ. Сопоставленіе цѣнъ этихъ двигателей мы здѣсь считаемъ лишнимъ, такъ какъ всякій желающій можетъ получить эти свѣдѣнія путемъ запроса у одной или нѣсколькихъ фирмъ, причемъ считаемъ нужнымъ еще разъ предупредить отъ увлеченія дешевизной. Весьма раціонально поручить доставку двигателя и водоподъемныхъ машинъ одному лицу при условіи точныхъ гарантій относительно расхода газа, какъ это и практикуется лучшими заводами.

Сравнительная экономичность работы водоподъемныхъ машинъ, приводимыхъ въ движеніе газовыми двигателями, въ отношеніи къ работѣ паровыхъ и

другихъ машинъ должна быть опредѣлена отдѣльно для каждаго даннаго случая. Впрочемъ, при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ, когда необходимымъ условіемъ является возможность быстраго пусканія въ ходъ машины (какъ, напр., для быстрой помощи въ случаѣ пожара), или когда требуется установить ее въ тѣсномъ пространствѣ, или для устраненія дыма и т. д. предпочитаютъ газовые двигатели и тогда, когда другая передача даже оказывается дешевле. Газовые двигатели весьма умѣстны для водопроводовъ въ тѣхъ случаяхъ, когда отъ нихъ требуется только временная работа въ теченіе короткихъ періодовъ времени (нѣсколькихъ недѣль или мѣсяцевъ въ году), какъ это, напр., иногда требуется для дополненія недостающаго количества воды въ ключевыхъ водоснабженіяхъ или для дополненія недостаточной по временамъ водяной двигательной силы, такъ какъ содержаніе ихъ въ исправности внѣ работы гораздо легче, нежели вспомогательныхъ паровыхъ машинъ съ ихъ принадлежностями, и при томъ онѣ занимаютъ весьма мало мѣста, такъ что могутъ быть установлены въ существующихъ машинныхъ помѣщеніяхъ.

Если примѣненіе газовой машины къ дѣйствію водоподъемнаго устройства оказывается цѣлесообразнымъ, какъ, напр., въ деревняхъ или маленькихъ городахъ, но въ данномъ мѣстѣ не имѣется газа, то можно употреблять для этой цѣли нефтяные двигатели (бензиновые, керосиновые и работающіе сырой нефтью).

Нефтяные двигатели (бензиновые и проч.) по своей сущности совершенно одинаковы съ газовыми. Горючія жидкости (керосинъ, бензинъ и проч.) или сперва обращаются въ газъ, который затѣмъ смѣшивается съ воздухомъ (при чемъ необходимъ аппаратъ для добыванія газа), или же онѣ распыливаются (иногда посредствомъ пропусканія воздуха), при чемъ обращеніе ихъ въ газъ происходитъ только при воспламененіи смѣси. Какъ и въ случаѣ газовыхъ двигателей, здѣсь требуется охлажденіе рабочаго цилиндра. Расходъ горючей жидкости можно принять для большихъ двигателей отъ $^1/_2$ до $^3/_4$ литр., а для меньшихъ двигателей въ 1,5 до 6 лошад. силъ отъ 0,8 до 1 литра въ часъ на лош. силу; расходъ охлаждающей воды, смазочныхъ и обтирочныхъ матеріаловъ, амортизаціи и т. д. для этихъ двигателей совершенно такой же, какъ и для газовыхъ двигателей; но здѣсь отсутствуетъ потребность въ газопроводѣ, контрольномъ аппаратѣ, регуляторѣ и проч., такъ что общее сооруженіе большей частью выходитъ не дороже.

Двигатели съ горячимъ воздухомъ, съ угольной кислотой, амміачные, сѣрнисто-углеродные и проч. для цѣлей водоснабженія почти не употребляются, а потому мы здѣсь на нихъ останавливаться не будемъ.

Вѣтряные двигатели. Весьма цѣлесообразныя машины для искусственнаго подыманія воды въ соотвѣтствующихъ мѣстностяхъ представляютъ собой вѣтряные двигатели, которые, однако, должны работать съ саморегулированіемъ, какъ по отношенію къ направленію, такъ и къ силѣ вѣтра. Одинъ изъ наилучшихъ типовъ подобныхъ двигателей, а именно двигатель Галладая, устанавливается на вращающемся на роликахъ столѣ, расположенномъ на высотѣ 8 или 10 метр. надъ уровнемъ земли и поддерживаемомъ подмостями съ лѣсами или мачтой, при чемъ вѣтеръ имѣетъ безпрепятственный доступъ къ двигателю со всѣхъ сторонъ. Вѣтряное колесо состоитъ изъ круглаго диска, въ срединѣ котораго вырѣзанъ кругъ діам. приблизительно $^1/_3$ діаметра диска; дискъ съ вырѣзаннымъ по срединѣ кругомъ, закрѣпляемый на валу обыкновенно помощью 8 спицъ, обшивается въ видѣ жалюзи плотно прилегающими одна къ другой деревянными

дощечками, подвергаемыми давленію вѣтра. Установка колеса по направленію вѣтра происходитъ, какъ въ голландскихъ вѣтрякахъ, автоматически помощью устроеннаго сзади колеса плотнаго флюгера; для остановки дѣйствія двигателя ось колеса поворачивается такъ, чтобы она заняла положеніе, перпендикулярное рабочему направленію вѣтра, или же помощью рычажнаго приспособленія отдѣльные секторы колеса группируются вокругъ оси на подобіе барабана. Регулирующее приспособленіе у вѣтряныхъ колесъ имѣетъ цѣлью при сильномъ вѣтрѣ поддерживать скорость колеса въ предѣлахъ, соотвѣтствующихъ его конструкціи и допускаемыхъ нижнимъ строеніемъ.

Неизбѣжный недостатокъ вѣтряныхъ колесъ, состоящій въ томъ, что они не могутъ работать при слишкомъ малой или при слишкомъ большой скорости вѣтра, ограничиваетъ ихъ примѣненіе, возможное только для водоснабженій съ большими резервуарами, емкость которыхъ опредѣляется извѣстными для данной мѣстности періодами затишья, если не имѣется какого-либо другого двигателя для замѣны вѣтряного въ такіе періоды. Величина діаметра колеса обыкновенно колеблется между 2,50 до 18,0 метр., а полезная работа обусловливается силой вѣтра.

Въ отношеніи силы вѣтра для климатическихъ условій, соотвѣтствующихъ средней полосѣ Германіи, можно принять скорость вѣтра не больше 4,5 метр. въ секунду. Если принять за основаніе извѣстную эмпирическую формулу для опредѣленія полезной работы вѣтряного колеса:

$$12)\quad L = \varphi F v^3,$$

гдѣ L изображаетъ полезную работу водяного колеса, измѣряемую по количеству поднятой воды, въ килограммо-метрахъ въ секунду, F — поверхность, подверженную дѣйствію вѣтра въ кв. метрахъ, v—скорость вѣтра въ метрахъ въ секунду, а φ—нѣкоторый численный коэффиціентъ, то при среднихъ значеніяхъ:

$$\varphi = 0{,}011\,, \qquad F = 0{,}7\ D^2, \qquad v = 4{,}5$$

величина діаметра D вѣтряного колеса, развивающаго работу α килограммо-метр. въ секунду или N лошад. силъ, будетъ

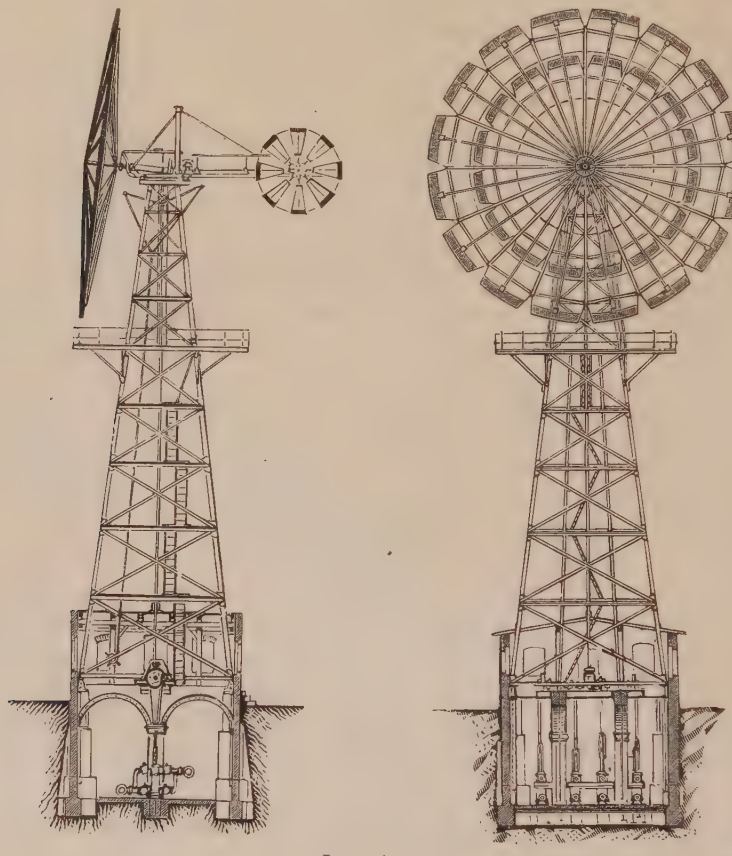
$$13)\quad D = 1{,}2\ \sqrt{\alpha} = 10{,}4\ \sqrt{N}.$$

Эта формула даетъ вполнѣ достаточный діаметръ колеса, и при опредѣленіи величины L или соотвѣтственно N принята во вниманіе только полезная производительность колеса (за вычетомъ всѣхъ потерь отъ тренія и проч.).

Такъ, напр., двигатель съ діаметромъ колеса 4,5 метр. при скорости вѣтра 4,5 метр. въ секунду будетъ развивать работу около $^1/_5$ лошад. силы, слѣд. будетъ подымать въ секунду 1 литр. воды на высоту 15 метр. и т. д.

Вѣтряно-двигательная станція водопровода города Грейфсвальда, по сообщенію строившей ее фирмы Филлеръ и Гиншъ, въ Эймсбюттель-Гамбургѣ, при среднемъ годовомъ вѣтрѣ съ $v = 4{,}3$ метр. подымаетъ въ часъ количество воды въ 162 куб. метр. на высоту 6 метр. Это соотвѣтствуетъ полезной работѣ двигателя $L = \frac{6.162000}{3600} = 270$ килогр. метр. въ секунду. Діаметръ водяного колеса составляетъ 12,20 метр., такъ что полученное полезное дѣйствіе оказывается больше обыкновенно принимаемой цифры. На фиг. 199 изображенъ видъ этого сооруженія. Двигатель вполнѣ удовлетворительно приводитъ въ движеніе 4 чугунныхъ всасывающихъ и нагнетальныхъ насоса двойного дѣйствія съ діам. цилиндровъ по 200 мил. и ходами поршней по 500 милим., установленныхъ ниже поверхности земли.

Для опредѣленія нормальной производительности различныхъ двигателей (при принятомъ нами обозначеніи величины L въ килограммо-метрахъ въ секунду, измѣряемой количествомъ поднятой воды при средней скорости вѣтра) упомянутый машиностроительный заводъ даетъ слѣдующія соотвѣтственныя значенія D и L, по которымъ вычислены приведенныя въ таблицѣ величины $D:\sqrt{L}$.



Фиг. 199.

$D=$	3,5	3,65	4,00	4,30	5,00	5,50	6,10	6,70	7,60	8,50	9,15	11,0	12,2	13,75	15,25
$L=$	8,3	10,8	15,0	20,8	25,0	35,0	45,0	50,0	62,5	70,0	83,3	125,0	166,7	208,3	266,7
$D:\sqrt{L}=$	1,1	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9

Въ то время какъ по эмпирической формулѣ 11) получается $D=1{,}2\sqrt{L}$, эта таблица даетъ приблизительно $D=\sqrt{L}$, т. е. величина L для даннаго діаметра вѣтряного колеса по таблицѣ получается нѣсколько больше, нежели вычисленіемъ по формулѣ 11)

Само собой разумѣется, что мѣстныя условія и разныя затрудненія при работѣ имѣютъ весьма существенное вліяніе на величину L.

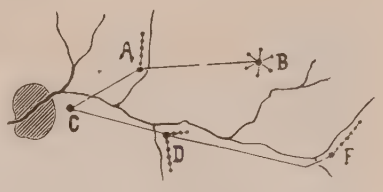
Само собой разумѣется, что производительность значительно повышается при болѣе сильномъ вѣтрѣ, но въ общемъ она постоянно остается сравнительно небольшой. Это обстоятельство ограничиваетъ сферу примѣненія этихъ двигателей небольшими только сооруженіями; въ континентальной странѣ (не прилегающей къ морю) наибольшая работа, развиваемая вѣтрянымъ колесомъ при наибольшемъ ея діаметрѣ (18 метр.) и наибольшомъ вѣтрѣ и измѣряемая количествомъ

подымаемой воды, можетъ составлять около 4 лошад. силъ. Наоборотъ, для водоснабженія отдѣльныхъ домовъ и небольшихъ хозяйствъ, вокзаловъ (ср. гл. 6) и проч., преимущественно въ мѣстностяхъ съ правильными вѣтрами, эти двигатели оказываются весьма удовлетворительными.

По возможности высокое и свободное расположеніе вѣтряныхъ колесъ въ значительной степени содѣйствуетъ повышенію ихъ производительности; не надлежащая установка и недостаточный діаметръ вѣтряного колеса во многихъ случаяхъ влекли къ ошибочнымъ результатамъ, препятствовавшимъ болѣе обширному примѣненію вѣтряныхъ двигателей. Считаемъ нелишнимъ здѣсь замѣтить, что слишкомъ большой діаметръ колеса никогда не влечетъ за собой никакихъ вредныхъ послѣдствій, а только содѣйствуетъ тому, что двигатель начинаетъ работать еще до наступленія предложенной при вычисленіяхъ скорости, слѣд. вычисленіе слѣдуетъ производить по формулѣ 13).

Различныя другія двигательныя силы. Кромѣ разсмотрѣнныхъ нами двигательныхъ силъ, во многихъ мѣстахъ для подыманія воды имѣются въ распоряженіи сжатый воздухъ, электромоторы, приливъ и отливъ и т. д.; свойствами атмосфернаго воздуха точно также пользуются для подыманія воды, какъ въ томъ случаѣ, когда вода помощью трубы (всасывающаго сифона) проводится изъ вышележащаго мѣста черезъ хребетъ къ нижележащему мѣсту, такъ и тогда, когда путемъ разрѣженія воздуха въ пріемникѣ вызываютъ поднятіе по немъ воды изъ нижележащаго уровня.

Если городъ снабженъ сжатымъ воздухомъ или электричествомъ для приведенія въ движеніе двигателей, то тѣмъ не менѣе слѣдуетъ раньше опредѣлить финансовыя выгоды отъ примѣненія этихъ силъ въ обширныхъ размѣрахъ въ сравненіи съ примѣненіемъ другихъ силъ. Онѣ могутъ получиться въ такомъ, напр., случаѣ, когда для добыванія воды изъ грунтоваго резервуара требуется большое число отдѣльныхъ сооруженій (группъ колодцевъ и пр.), которыя, преимущественно при низкомъ положеніи уровней, не могутъ быть соединены между собой посредствомъ общей всасывающей трубы безъ чрезмѣрныхъ денежныхъ затратъ. Здѣсь приведеніе въ дѣйствіе изъ одной центральной станціи C или передача (пневматическая или электрическая) отъ C для дѣйствія водоподъемныхъ машинъ въ группахъ A, B, D и E (фиг. 200) представляетъ собой наилучшее рѣшеніе вопроса, преимущественно если это подыманіе воды ограничивается проведеніемъ ея въ общую сборную шахту при C, гдѣ она изъ этой шахты опять накачивается въ одну общую напорную трубу, по которой она проводится въ снабжаемую область. Въ подобныхъ случаяхъ, хотя передача силы сопряжена съ довольно значительными потерями работы, центральная передача даетъ значительныя сбереженія расходовъ по содержанію персонала, превышающія дороговизну передачи, и имѣетъ большое преимущество въ отношеніи удобнаго присмотра надъ всѣмъ сооруженіемъ.



Фиг. 200.

Приливъ и отливъ представляютъ собой силы, которыя при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ могутъ быть использованы весьма выгодно; но для окончательнаго рѣшенія этого вопроса въ настоящее время еще нѣтъ достаточныхъ экспериментальныхъ основныхъ положеній, и намъ не извѣстны какія-либо выполненныя подобныя сооруженія.

Водоподъемныя машины. Если вода вычерпывается изъ какого нибудь помѣщенія и вмѣстѣ съ черпальнымъ сосудомъ подымается на нѣкоторую высоту, то полная произведенная работа, само собой понятно, будетъ больше, нежели при простомъ нагнетаніи воды или подыманіи ея въ закрытыхъ неподвижныхъ проводахъ. Водоподъемныя приспособленія, приводимыя въ дѣйствіе силой людей или животныхъ и оставшіяся въ неизмѣненномъ видѣ съ незапамятныхъ временъ и до настоящаго времени, были приведены нами выше; они больше всего примѣняются въ сельскомъ хозяйствѣ, но весьма рѣдко примѣняются при обширномъ водоснабженіи. Для послѣдней цѣли лучше всего служатъ насосы, поэтому мы здѣсь разсмотримъ одни только насосы.

Между насосами слѣдуетъ различать насосы съ поперемѣннымъ поступательнымъ движеніемъ поршня, съ постояннымъ вращательнымъ движеніемъ и съ качательнымъ движеніемъ; затѣмъ различаютъ насосы, работающіе ударами (тараны), струйные насосы, воздушные, газовые и паровые нагнетательные насосы.

Перемѣщеніе подымаемой насосомъ воды производится или путемъ всасыванія, закрыванія и нагнетанія, или же путемъ всасыванія и постояннаго или прерывающагося подыманія ея посредствомъ искусственно, постоянно или періодически, сообщаемой подымаемой жидкости энергіи. Всѣ насосы всасываютъ воду потому, что образуютъ въ такъ называемой всасывающей трубѣ разрѣженное пространство, въ которомъ атмосферное давленіе развиваетъ такую же силу, какъ стоящій надъ уровнемъ всасыванія столбъ воды высотой 7 — 8 метр. (безвоздушное пространство, недостижимое въ насосахъ, соотвѣтствуетъ высотѣ столба воды 10,33 метр.).

Наиболѣе часто примѣняемые въ настоящее время для водоснабженія насосы имѣютъ перемѣнно поступательное движеніе, а слѣд. и перемѣнную скорость, которая при каждомъ переднемъ и заднемъ ходѣ насоса у конца пути обращается въ нуль. Насосы съ постояннымъ вращательнымъ движеніемъ (вращательные насосы, центробѣжные насосы) сообщаютъ поднимаемой ими жидкости безпрерывное движеніе по одному направленію, но, за исключеніемъ центробѣжныхъ насосовъ, они, по изложеннымъ ниже причинамъ, весьма мало примѣняются для водоподъемныхъ сооруженій. Насосы съ качающимися поршнями (такъ называемые качающіеся насосы) до настоящаго времени не находятъ себѣ примѣненія для водоснабженія, и поэтому мы на нихъ останавливаться не будемъ.

Работающіе ударами насосы (тараны) представляютъ собой весьма цѣлесообразныя водоподъемныя машины; точно также въ отдѣльныхъ случаяхъ съ большимъ успѣхомъ могутъ быть примѣнены струйные насосы, а также и воздушные, газовые и паровые нагнетательные насосы.

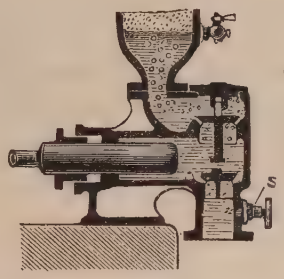
Насосы съ перемѣнно-поступательнымъ движеніемъ поршней. Между насосами этой категоріи въ сущности различаютъ насосы простого дѣйствія, насосы съ простымъ всасываніемъ и двойнымъ нагнетаніемъ (съ дифференціальными поршнями), и насосы двойного дѣйствія. Въ отношеніи употребляемаго для всасыванія и нагнетанія поршня существуетъ различіе между насосами съ дисковыми поршнями (или просто поршневыми насосами) и насосами съ ныряльными поршнями (плунгерными насосами), причемъ движущаяся спереди и сзади поршня вода раздѣляется самимъ поршнемъ; клапанные или вентильные поршни при нагнетаніи пропускаютъ воду сквозь поршни.

Затѣмъ существуетъ весьма важное различіе между насосами съ клапанами и насосами безъ клапановъ (водостолбовыми машинами).

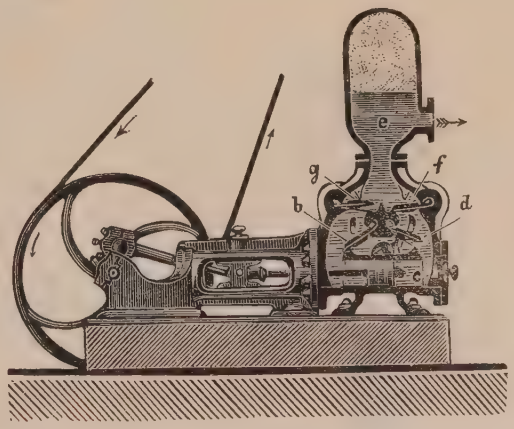
Для очень небольшихъ сооруженій почти безъ исключенія употребляются насосы съ клапанными поршнями, расположенные въ рабочихъ цилиндрахъ, какъ показано на фиг. 201. Клапанный поршень *P* при своемъ восходящемъ движеніи всасываетъ воду посредствомъ клапана *V*, а находящуюся надъ нимъ воду нагнетаетъ въ трубу *D*; по прекращеніи этого движенія клапанъ U закрывается. При нисходящемъ движеніи находящаяся въ пространствѣ между P и V вода черезъ клапанный поршень *P* поднимается надъ поршнемъ. Пространство *R* между камерой насоса и нагнетательной трубой служитъ воздушнымъ колпакомъ. По этому же типу устроены изображенные на фиг. 154, 173 и 192, и приводимые въ движеніе руками насосные колодцы; они называются насосами простого дѣйствія, такъ какъ производятъ всасываніе и нагнетаніе только при восходящемъ своемъ движеніи. Клапанъ V долженъ быть всегда расположенъ на такой глубинѣ, чтобы его разстояніе отъ наиболѣе глубокаго уровня всасыванія не превышало 6 до 7 метровъ.

На фиг. 202 изображенъ ныряльный насосъ простого дѣйствія съ клапанами (конструкціи завода Клейнъ, Шанцлинъ и Бекеръ въ Франкенталѣ). При движеніи поршня впередъ всасывающій клапанъ закрывается, и ныряло, входя въ цилиндръ насоса вытѣсняетъ раньше поступившую туда воду въ напорную трубу (или въ напорный воздушный котелъ) черезъ отверстіе, образующееся при поднятіи нагнетательнаго клапана. При обратномъ ходѣ ныряла нагнетательный клапанъ закрывается, а всасывающій открывается. Черезъ воздушный винтовой кранъ или пробку *S* можно въ случаѣ надобности всасывать воздухъ для наполненія воздушнаго котла.

Фиг. 201.



Фиг. 202.



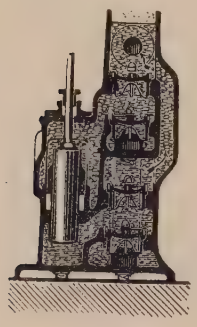
Фиг. 203.

Изготовляемый той же фирмой горизонтальный поршневой насосъ двойнаго дѣйствія показанъ на фиг. 203. Насосъ снабженъ кожаными плоскими клапанами *b*, *d*, *g* и *f*; вода всасывается насосомъ черезъ отверстіе *a* и нагнетается въ воздушный колпакъ, откуда она уже поступаетъ въ напорную трубу, какъ показано на чертежѣ стрѣлкой. Приводимый въ дѣйствіе ременнымъ приводомъ показанный на чертежѣ насосъ движется справа налѣво; при этомъ одновременно открываются всасывающій клапанъ *d* и нагнетательный *g*; въ концѣ хода, т. е. при скорости поршня, равной нулю, оба эти клапана закрываются. При обратномъ ходѣ поршня *c*, т. е. при его движеніи слѣва направо, открываются всасывающій клапанъ *b* и нагнетательный *f*, и т. д. Отсюда видно, что какъ при прямомъ, такъ и при обратномъ ходѣ насоса вода всасывается и нагнетается, и этимъ обусловливается названіе этихъ насосовъ, какъ насосовъ двойного дѣйствія.

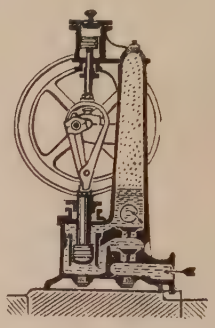
Вертикальный ныряльный насосъ двойного дѣйствія той же фирмы показанъ на фиг. 204. Каждое движеніе или ходъ ныряла вызываетъ одновременно всасываніе и нагнетаніе. Отличительная особенность этого насоса состоитъ въ расположеніи сальника внутри самого насоснаго пространства, чѣмъ совершенно устранено попаданіе воздуха въ это пространство. Преимущество этой системы состоитъ въ томъ, что треніе ныряла о сальникъ гораздо меньше, нежели при обыкновенномъ устройствѣ, такъ какъ сальникъ, доступъ

къ которому происходитъ черезъ два закрытыхъ крышками боковыхъ отверстія, долженъ быть только непроницаемъ для воды, почему слѣдуетъ притянуть его только слегка. Другое устройство горизонтальнаго ныряльнаго насоса двойного дѣйствія показано ниже на фиг. 207.

Вертикальный поршневой насосъ двойного дѣйствія конструкціи завода A. L. G. Dehne въ Галле на З. показанъ на фиг. 205. Онъ работаетъ такъ же, какъ только что было описано, и устроенъ такимъ образомъ, что всасывающіе и нагнетательные клапаны совершенно одинаковы между собой и легко могутъ быть замѣнены простымъ открываніемъ флянцеваго стыка. Поршень приводится въ дѣйствіе кривошипомъ отъ горизонтальнаго вала. Доступность клапановъ, удобство и простота замѣны ихъ и доступность всѣхъ частей насоса составляютъ главныя преимущества насосовъ этой вполнѣ оправдавшейся на дѣлѣ конструкціи.

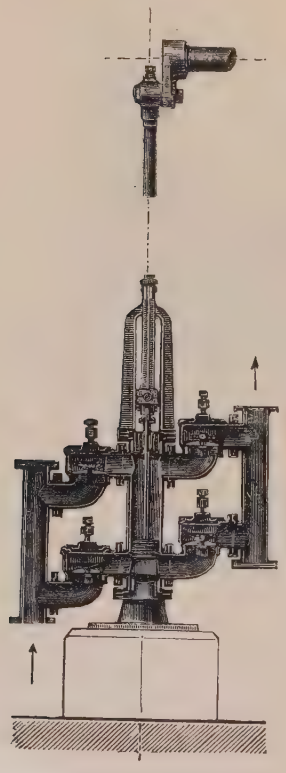


Фиг. 204.



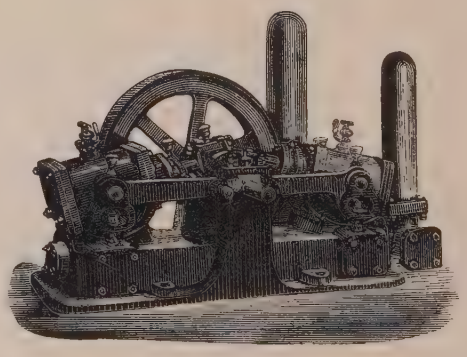
Фиг. 206.

Въ насосахъ простого дѣйствія сопротивленіе въ періодъ всасыванія обыкновенно гораздо меньше, нежели въ періодъ нагнетанія, и поэтому въ теченіе перваго періода насосы движутся слишкомъ быстро. Путемъ комбинаціи нѣсколькихъ подобныхъ насосовъ можно вполнѣ устранить это неудобство: при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ оно устраняется достаточно тяжелымъ маховикомъ при насосѣ и проч. Та же цѣль достигается устройствомъ насоса съ дифференціальнымъ поршнемъ, какъ показано на фиг. 206, изображающей подобный насосъ конструкціи завода Клейнъ, Шанцлинъ и Бекеръ въ Франкенталѣ. Дисковой поршень этого нососа имѣетъ площадь сѣченія въ 2 раза больше площади сѣченія расположеннаго надъ нимъ ныряла. При нагнетаніи поршнемъ половина нагнетаемой воды скопляется въ кольцевомъ пространствѣ между ныряломъ и стѣнкой цилиндра. При послѣдующемъ затѣмъ всасываніи одновременно же происходитъ и нагнетаніе скопленной при предыдущемъ ходѣ воды. Такимъ образомъ эти насосы работаютъ съ простымъ всасываніемъ и двойнымъ нагнетаніемъ. Они преимущественно находятъ себѣ примѣненіе въ случаяхъ перемѣннаго давленія пара, а также при трубчатыхъ котлахъ съ высокимъ давленіемъ пара.



Фиг. 205.

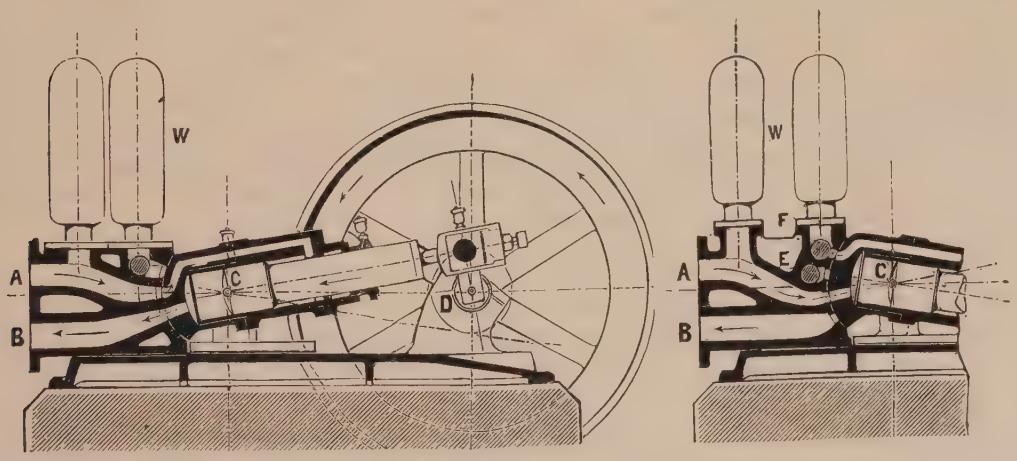
При прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ поршневые насосы (съ дисковыми поршнями) примѣняются только для подъема чистой воды на небольшія или среднія высоты. Главнымъ образомъ необходимо слѣдить за чистотой воды при горизонтальныхъ поршневыхъ насосахъ. Ныряльные насосы примѣняются также и для среднихъ, но преимущественно для большихъ высотъ напора: они употребляются во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда поднимаемая вода содержитъ въ себѣ песчаныя и землистыя примѣси. Первоначальная стоимость ныряльныхъ насосовъ всегда нѣсколько больше стоимости поршневыхъ насосовъ.



Фиг. 207.

Всѣ разсмотрѣнные до сихъ поръ насосы снабжены клапанами. Поршневые (или ныряльные) насосы безъ клапановъ работаютъ гораздо выгоднѣе, такъ какъ при работѣ нѣтъ сопротивленія клапановъ. Подобные насосы приводятся въ движеніе различнымъ образомъ, но большей частью водой и въ послѣднемъ случаѣ называются водостолбовыми машинами. Выше (см. фиг. 193) мы разсмотрѣли водяной двигатель Шмида, представляющій собой типъ водостолбовой машины, дающей весьма выгодную работу; при этомъ мы замѣтили, что при обратныхъ условіяхъ этотъ двигатель можетъ работать въ качествѣ насоса. Но обыкновенный двигатель Шмида, примѣненный такимъ путемъ въ видѣ насоса, можетъ только накачивать свою рабочую воду. Поэтому часто устраиваются соединенные или комбинированные двигатели, изъ коихъ одинъ приводится въ дѣйствіе паромъ или рабочей водой изъ какого-либо источника, чтобы такимъ путемъ помощью второго двигателя накачивать воду изъ другого источника. На фиг. 207 показана подобная машина въ общемъ ея видѣ.

Изображенный на фиг. 208 двигатель Кребера накачиваетъ свою рабочую воду, а при измѣненіи конструкціи, согласно изображенной на правой сторонѣ фиг. 208, онъ качаетъ также всякую другую воду. Въ первомъ случаѣ (фиг. съ лѣвой стороны) рабочая вода поступаетъ при *A* и проходитъ къ дифференціальному поршню, двигая его впередъ по направленію стрѣлки и выталкивая находящуюся сзади него воду черезъ трубу *B*. Насосный цилиндръ поворачивается вокругъ оси *C*, и этимъ вращательнымъ движеніемъ при концѣ хода поршня открывается проходъ къ напорной трубѣ или къ воздушному колпаку *W*. При обратномъ ходѣ



Фиг. 208.

поршня вода, заключенная между ныряломъ и цилиндромъ, нагнетается въ воздушный котелъ. Во второмъ случаѣ (расположеніе, показанное съ правой стороны фиг. 208) *A* и B представляютъ собой впускной и выпускной каналы для рабочей воды, *E* — всасывающій, а F — нагнетательный проводъ для накачиваемой воды. Въ остальномъ устройство одинаково съ только что описаннымъ, а дѣйствіе насоса понятно изъ чертежа.

Водостолбовыя машины Кребера всѣ устраиваются простого дѣйствія и съ успѣхомъ могутъ быть примѣнены въ качествѣ насосовъ при сильныхъ паденіяхъ и чистой водѣ, и если имѣющееся въ распоряженіи количество рабочей воды составляетъ до 10 литр. въ секунду, изъ которыхъ отъ $^1/_{10}$ до $^1/_3$ можетъ быть поднято насосомъ.

При мутной водѣ, преимущественно съ примѣсью песку, примѣненіе водостолбовыхъ машинъ должно быть исключено.

Насосы съ постояннымъ вращательнымъ движеніемъ (ротаціонные насосы, кожуховыя колеса, центробѣжные насосы). Эти насосы могутъ быть раздѣлены на 2 главныхъ категоріи, изъ коихъ насосы первой категоріи снабжены болѣе или менѣе быстро вращающимся въ замкнутой камерѣ поршнемъ или черпальнымъ аппаратомъ, заимствующимъ изъ всасывающей трубы воду опредѣленными порціями и изливающимъ ее въ напорную трубу (ротаціонные насосы); вторая главная категорія

обнимаетъ собой такъ называемые центробѣжные насосы, въ которыхъ всасываніе и выталкиваніе воды черезъ напорную трубу производятся помощью водяного колеса (турбины), весьма быстро вращающагося въ неподвижной прочно установленной камерѣ.

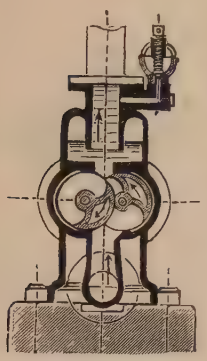
Съ теоретической точки зрѣнія насосъ съ постоянно вращающимся поршнемъ долженъ имѣть безусловныя преимущества предъ насосомъ съ перемѣнно прямолинейнымъ движеніемъ поршня. Но невозможность надлежащей плотной пригонки вращающагося поршня или черпальнаго аппарата составляетъ практическое препятствіе къ примѣненію основанныхъ на этомъ принципѣ насосовъ: они никогда не обладаютъ полнымъ отдѣленіемъ всасывающей трубы отъ напорной, и не могутъ имъ обладать. Всѣ средства для достиженія возможно полнаго отдѣленія обѣихъ трубъ имѣютъ своимъ послѣдствіемъ слишкомъ большое сопротивленіе и быстрое разрушеніе насоса. Небольшой зазоръ оказывается неизбѣжнымъ. Вслѣдствіе этого ротаціонные насосы нѣсколько удовлетворительно могутъ работать только при небольшихъ высотахъ подъема воды; если послѣднія не превышаютъ 5 до 15 метр., то подобные насосы даютъ даже достаточно большой коэффиціентъ полезнаго дѣйствія. Если же высота подъема воды доходитъ до 25 метр. или выше, то рѣзко обнаруживается недостатокъ этихъ насосовъ, состоящій въ отсутствіи плотнаго отдѣленія всасывающей трубы отъ нагнетательной: полезное дѣйствіе насоса понижается, пока оно, наконецъ, при нѣкоторой предѣльной высотѣ нагнетанія, обусловливаемой конструкціей насоса, дѣлается равнымъ нулю. Тогда насосъ продолжаетъ вращаться, не производя накачиванія.

Между вращающимися насосами первой категоріи различаются насосы съ однимъ, двумя или тремя рабочими валами. Дальнѣйшее различіе между насосами состоитъ въ устройствѣ закрыванія сообщенія между всасывающей трубой и нагнетательной, а также и въ положеніи оси рабочаго вала (центрическое или эксцентрическое) относительно оси камеры въ насосахъ съ однимъ рабочимъ валомъ; насосы же съ 2-мя рабочими валами различаются между собой тѣмъ, что оба вала лежатъ на одной оси, или бываютъ параллельны или же, наконецъ, оси ихъ пересѣкаются.

Вращающіеся насосы съ однимъ рабочимъ валомъ обыкновенно работаютъ совершенно плавно. Насосы съ двумя рабочими валами для достиженія требуемаго взаимнаго положенія обоихъ вращающихся поршней при всякомъ положеніи должны быть снабжены шестернями, при работѣ которыхъ происходитъ неизбѣжный шумъ. Еще неблагопріятнѣе бываютъ эти условія при насосахъ съ 3-мя рабочими валами (Ноеля).

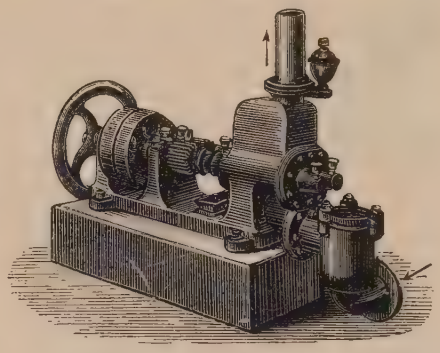
Жидкости съ песчаными или землистыми примѣсями имѣютъ весьма вредное вліяніе на работоспособность вращающихся насосовъ. Всѣ эти обстоятельства, а главнымъ образомъ частый ремонтъ и сопряженные съ нимъ перевывы работы до настоящаго времени удерживаютъ большинство инженеровъ отъ примѣненія вращающихся насосовъ въ качествѣ сильныхъ водоподъемныхъ машинъ для водопроводовъ; но тѣмъ не менѣе нѣкоторыя преимущества хорошихъ конструкцій насосовъ не подлежатъ сомнѣнію. Къ этимъ преимуществамъ прежде всего слѣдуетъ отнести равномѣрность подъема воды, легкость установки вслѣдствіе сравнительно небольшого вѣса, небольшое требуемое насосомъ мѣсто, незначи-

тельную первоначальную стоимость и доступность машины. Поэтому мы можемъ совѣтовать не отказываться отъ примѣненія этихъ насосовъ при благопріятствующихъ къ тому обстоятельствахъ, какъ напр. при возможности непосредственнаго соединенія рабочаго вала съ горизонтальнымъ валомъ турбины, при постоянно чистой водѣ, небольшой высотѣ нагнетанія и пр.



Фиг. 209.

Одинъ изъ наиболѣе извѣстныхъ типовъ вращающихся насосовъ представляетъ собой кулачный насосъ, изображенный на фиг. 209 по конструкціи завода Клейнъ, Шанцлинъ и Бекеръ во Франкенталѣ. Два крыла сѣченіемъ въ видѣ полумѣсяцевъ расположены одно надъ другимъ, и каждое изъ нихъ ограничено одной большой и одной меньшей цилиндрической поверхностью. Большая поверхность одного крыла катится по малой поверхности другого.



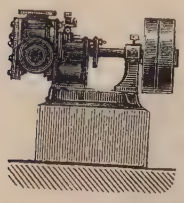
Фиг. 210.

такъ что при вращеніи оба крыла постоянно соприкасаются между собой, удаляясь другъ отъ друга. Оба крыла постоянно проходятъ сквозь всю камеру, и торцовыя ихъ поверхности пригнаны къ стѣнкамъ камеры настолько плотно, насколько это возможно при вращающихся насосахъ. Вращеніе каждаго крыла и соотвѣтственно правильное взаимное ихъ положеніе производится помощью показанныхъ на фиг. 210 зубчатыхъ колесъ, причемъ одно крыло всегда должно приближаться къ другому, какъ показано на чертежѣ стрѣлками. При этомъ объемы промежутковъ между крыльями и камерой измѣняются: для всасыванія они увеличиваются со стороны всасывающей трубы и уменьшаются предъ напорной трубой для производства нагнетанія. Подъемъ воды бываетъ почти непрерывный, и только въ исключительныхъ случаяхъ оказывается необходимость въ воздушномъ колпакѣ, въ разрѣзѣ изображенномъ на фиг. 209. При подобныхъ насосахъ необходима воронка для наполненія насоса водой до начала его работы; точно также необходимы обратные клапана какъ въ напорной, такъ и во всасывающей трубѣ.

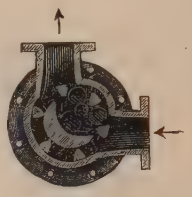
Эти насосы весьма просты и въ отношеніи къ ихъ производительности довольно дешевы — значительно дешевле обыкновенныхъ паровыхъ насосовъ. Для высоты подъема въ 10 метровъ размѣры насосовъ и ихъ производительность показаны въ прилагаемой таблицѣ.

Діаметры всасывающихъ и нагнетательныхъ трубъ.	Число оборотовъ въ минуту (наибольшее).	Количество подымаемой воды въ литрахъ въ секунду на высоту 10 метровъ (наибольшее).	Потребное число лош. силъ при подыманіи на 10 метр.	Размѣръ ременныхъ шкивовъ.	
				Діаметръ въ метр.	Ширина въ метр.
100	210	8,3	1,25	0,350	0,120
125	190	12,5	2,50	0,450	0,150
150	165	16,7	3,50	0,500	0,170
175	135	25,0	5,00	0,620	0,180
200	135	33,3	6,25	0,620	0,200
225	110	41,7	8,50	0,840	0,200
250	100	58,3	12,00	0,950	0,250
300	90	83,3	17,00	1,050	0,300

Для второго примѣра приводимъ здѣсь ротаціонный насосъ системы Зельвига (машиностроительный заводъ Зельвигъ и Ланге въ Брауншвейгѣ), изображенный въ общемъ видѣ на фиг. 211, а въ поперечномъ разрѣзѣ — на фиг. 212. Вращающаяся часть насоса состоитъ изъ соединенной съ валомъ рабочей оси, снабженной шестью зубчатообразными крыльями, вращающимися въ кольцевомъ пространствѣ между цилиндрической камерой и выступомъ крышки серповиднаго сѣченія, и изъ расположеннаго внутри этой рабочей оси замыкающаго механизма въ видѣ шестерни съ тремя зубцами, соприкасающимися со стѣнками камеры, а также со внутренней стороной упомянутаго выступа, образуя въ связи съ крыльями рабочей оси постоянное и достаточно плотное замыканіе между всасывающей и нагнетающей сторонами насоса.



Фиг. 211.



Фиг. 212.

При вращеніи обѣихъ этихъ частей со стороны всасыванія зубцы одной выходятъ изъ промежутковъ между зубцами въ другой. Послѣдніе, заполняясь водой, притекающей изъ всасывающей трубы, производятъ всасывающее дѣйствіе. Съ нагнетательной стороны, наоборотъ, зубцы одной части опять входятъ въ промежутки между зубцами другой части, а находящаяся въ этихъ промежуткахъ жидкость выдавливается изъ нихъ и нагнетается въ напорную трубу.

Въ помѣщенной ниже таблицѣ данныя приведеныя данны относительно этихъ насосовъ для нормальнаго числа ихъ оборотовъ и нормальныхъ количествъ воды при высотѣ поднятія въ 10 метр. Если вода должна быть поднята до высоты 15 метр., то число оборотовъ слѣдуетъ уменьшить на половину, а при болѣе значительныхъ высотахъ поднятія — до $^1/_3$ нормальнаго числа.

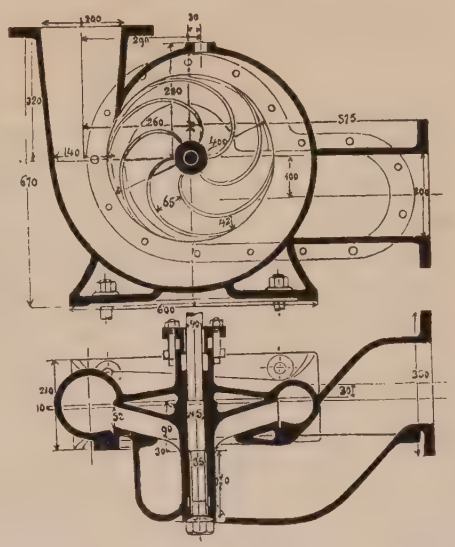
Діаметры всасывающихъ и нагнетательныхъ трубъ въ метрахъ.	Число оборотовъ въ минуту.	Количество поднимаемой воды на высоту 10 метр. въ литрахъ въ секунду.	Расходъ силы для поднятія на высоту 10 метр. въ лошад. силахъ.	Размѣръ шкивовъ.	
				Діаметръ въ метрахъ	Ширина въ метрахъ.
0,050	310	2,5	0,56	0,300	0,050
0,080	190	6,1	1,12	0,500	0,100
0,100	160	10,3	2,05	0,630	0,510
0,125	130	16,0	3,20	0,800	0,210
0,150	112	24,5	4,80	0,870	0,250
0,175	96	36,7	7,00	0,000	0,250

Здѣсь невозможно привести описаніе безчисленнаго множества существующихъ конструкцій ротаціонныхъ насосовъ; упомянемъ здѣсь, однако, о насосахъ Грейндля, давшихъ весьма удовлетворительные результаты при испытаніяхъ ихъ въ Брестѣ, а также о вальцовыхъ и зубчатыхъ насосахъ системъ Энке и Нэгера.

Въ общемъ насосы съ однимъ рабочимъ валомъ должны всегда предпочитаться насосамъ съ двумя или тремя рабочими валами, такъ какъ послѣдніе не только производятъ сильный шумъ при своей работѣ, но даютъ значительную потерю работы и подвержены быстрому изнашиванію. Послѣднее, какъ упомянуто выше, происходитъ также и тогда, когда черпательная часть насоса трется о внутреннюю поверхность кожуха, или когда оказывается необходимость въ большомъ числѣ оборотовъ. Число оборотовъ должно быть тѣмъ меньше, чѣмъ больше высота поднятія воды. Для высоты поднятія больше 50 метр. ротаціонные насосы служить не могутъ; мы даже исключаемъ ихъ примѣненіе уже при высотѣ въ 30 метр.

Центробѣжные насосы. Эти постоянно вращающіеся насосы находятъ себѣ частое примѣненіе для водоснабженія, если высота нагнетанія не превышаетъ 10 метр. при глубинѣ всасыванія 4 — 6 метр. Они дешевы, занимаютъ мало мѣсто, не требуютъ тяжелыхъ фундаментовъ и при точномъ и тщательномъ ихъ выполненіи могутъ служить для постоянной работы; они допускаютъ произвольное регулированіе количества поднимаемой воды (путемъ тормаженія воды), причемъ, однако, полезное дѣйствіе уменьшается по мѣрѣ того, какъ возростаетъ образуемое тормаженіемъ сопротивленіе. Передъ остальными вращающимися насосами они имѣютъ то преимущество, что бываютъ менѣе чувствительны къ мутной, илистой или съ содержаніемъ песку водѣ, при легкой возможности чистки и содержанія въ исправности.

На фиг. 213 изображенъ центробѣжный насосъ съ діаметромъ трубъ въ 200 миллиметр. конструкціи Меллера и Блюма въ Берлинѣ. Какъ видно изъ горизонтальнаго разрѣза, вода поступаетъ сбоку колеса, закрѣпленнаго на валу и снабженнаго искривленными назадъ лопатками. Камера или кожухъ насоса имѣетъ спиральную форму съ постепенно увеличивающимися сѣченіями и въ самомъ узкомъ мѣстѣ совпадаетъ съ поверхностью колеса. Къ кожуху съ одного бока привернута крышка, по снятіи которой можно легко вынуть колесо, очистить, исправить или замѣнить его запаснымъ.



Фиг. 213.

Въ общемъ всѣ конструкціи центробѣжныхъ насосовъ одинаковы съ только что описанной. По роду установки центробѣжные насосы раздѣляются на насосы съ вертикальными и насосы съ горизонтальными валами, а по роду поступленія воды они раздѣляются на насосы съ одностороннимъ притокомъ воды и насосы съ двустороннимъ притокомъ. Устройство самаго колеса существенно различается въ различныхъ насосахъ. Описаніе подробностей этого устройства не входитъ въ нашу программу, а потому мы на нихъ останавливаться не будемъ, отсылая интересующихся къ общимъ курсамъ машиностроенія или къ спеціальнымъ сочиненіямъ.

Въ продажѣ центробѣжные насосы существуютъ съ общепринятыми послѣдовательными діаметрами трубъ отъ 50 до 300 миллиметр. Въ слѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторыя данныя относительно производительности этихъ насосовъ, при высотѣ подъема въ 10 метр. (гдѣ подъ высотой подъема разумѣется разность высотъ уровня выпуска воды и уровня всасываемой воды).

Діаметры всасывающихъ и нагнетательныхъ трубъ въ метрахъ.	Число оборотовъ въ минуту.	Количество поднимаемой на высоту 10 метр. воды приблизительно въ литр. въ секунду.	Росходъ лошад. силъ при высотѣ подъема 10 метр.	Размѣры шкивовъ.	
				Діаметръ въ метрахъ.	Ширина въ метрахъ.
0,050	1600	5	1,00	0,100	0,100
0,080	1400	10	2,25	0,120	0,100
0,100	1200	20	4,50	0,135	0,120
0,125	1000	30	7,00	0,150	0,120
0,150	850	45	10,00	0,200	0,135
0,175	750	60	14,00	0,250	0,200
0,200	700	75	17,00	0,300	0,200
0,225	675	100	22,50	0,350	0,210
0,250	650	125	27,50	0,400	0,220
0,275	625	150	33,50	0,450	0,235
0,300	600	175	40,00	0,500	0,250

Болѣе крупные насосы обыкновенно заказываются и строятся спеціально примѣнительно ко всякому данному случаю. Цифры приведенной таблицы, естественно, могутъ быть разсматриваемы, какъ приближеніе. Всякій насосъ долженъ соотвѣтствовать спеціальной своей производительности. Вообще объ этихъ насосахъ можно только сказать, что съ увеличеніемъ высоты подъема при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ слѣдуетъ увеличивать число оборотовъ, и наоборотъ, при работѣ насоса скорость въ нагнетательной трубѣ должно оставаться въ предѣлахъ между 2,5 и 1,5 метр. въ секунду (приближаясь къ послѣднему предѣлу при высотѣ поднятія больше 10 метр., а къ первому при высотѣ меньше 10 метр.); полезное дѣйствіе насоса при большихъ высотахъ подъема и при тормаженіи притока понижается до 60% и меньше, и только при нормальной работѣ, для которой насосъ разсчитанъ, и при высотахъ подъема до 10 метр. полезное дѣйствіе центробѣжнаго насоса можетъ быть принято не выше 65 до 70% [1]).

Если всасываемая вода сама не притекаетъ къ колесу насоса, то всасывающая труба на нижнемъ своемъ концѣ должна быть снабжена клапаномъ. При высотѣ подъема воды больше 10 метровъ напорная труба должна быть снабжена обратнымъ клапаномъ.

Въ послѣднемъ случаѣ, приспособляя обратную трубку съ краномъ, значительно облегчаютъ заполненіе водой всасывающей трубы до начала дѣйствія насоса. При отсутствіи этой трубки наполненіе всасывающей трубы производится черезъ устраиваемое для этой цѣли въ кожухѣ насоса отверстіе помощью воронки; при длинныхъ всасывающихъ трубопроводахъ и большихъ діаметрахъ наполненіе всасывающихъ трубъ производится помощью пароструйныхъ инжекторовъ, если для дѣйствія насоса употребляется паровая сила.

Въ исключительныхъ случаяхъ центробѣжные насосы употребляются при высотахъ поднятія въ 15 метр. и болѣе (до 30 метр.); въ этихъ случаяхъ рекомендуется снабжать насосы предохранительнымъ клапаномъ. При небольшихъ насосахъ въ этихъ случаяхъ число оборотовъ бываетъ настолько велико (2000—3000), что обыкновенно предпочитаютъ замѣнять ихъ другими водоподъемными приспособленіями, или же распредѣлять весь подъемъ на 2 части съ промежуточнымъ бассейномъ и двумя центробѣжными насосами. Въ отношеніи производительности центробѣжные насосы въ благопріятныхъ предѣлахъ высотъ подъема не ограничены.

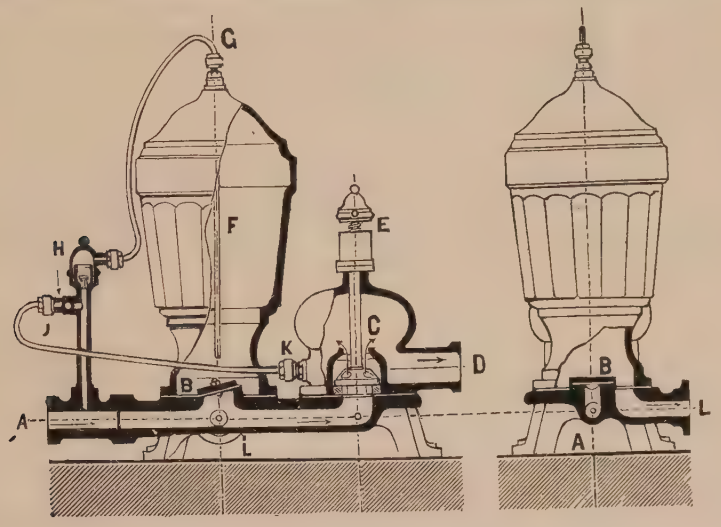
Наиболѣе крупные изъ подобныхъ насосовъ съ вертикальными валами, насколько намъ извѣстно, примѣнены Фарко въ Kathatbeh въ Египтѣ. Тамъ установлены 5 центробѣжныхъ насосовъ, изъ коихъ каждый, работая съ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія въ 65% въ теченіе 23 часовъ доставляетъ 500,000 куб. метр. воды на высоту, измѣняющуюся между 0,5 и 3 метр. Діаметръ колеса у каждаго изъ этихъ насосовъ составляетъ 3,8 метр.

Насосы, работающіе толчками (гидравлическій баранъ, таранъ). Впервые устроенный Монгольфьеромъ въ 1796 году гидравлическій таранъ представляетъ собой начало примѣненія насосовъ, работающихъ толчками и употребляемыхъ съ успѣхомъ вездѣ, преимущественно при небольшихъ сооруженіяхъ, гдѣ только имѣется чистая рабочая вода, часть которой должна быть поднята на извѣстную высоту, которая больше паденія рабочей воды. Впрочемъ гидравлическіе тараны могутъ быть примѣнены и для поднятія воды отличной отъ рабочей, такъ что если имѣется въ распоряженіи водяная сила въ достаточномъ количествѣ, примѣненіе его можетъ быть ограничено только особеностью конструкціи. Разсмотримъ дѣйствіе этихъ водоподъемныхъ машинъ на двухъ примѣрахъ устройства этихъ приборовъ.

Изображенная на фиг. 214 водоподъемная машина представляетъ собой гидравлическій таранъ системы Дюрозоа и дѣйствуетъ слѣдующимъ образомъ: рабочая вода подъ дѣйствіемъ нѣкотораго паденія протекаетъ по трубѣ, попадая подъ клапанъ *B* и противъ запорнаго вентиля *C*. Послѣдній снабженъ сквозными отверстіями на своемъ коническомъ сѣдлѣ, и протекающая вода при проходѣ черезъ эти отверстія (отмѣченныя на чертежѣ стрѣлками)

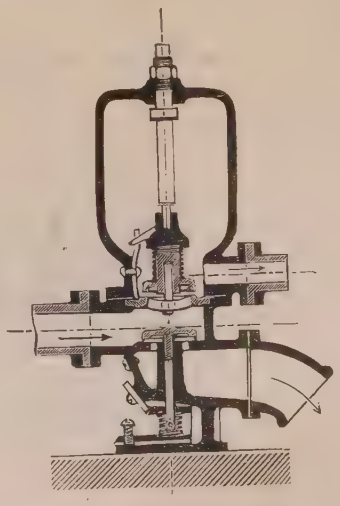
[1]) Въ исключительныхъ случаяхъ при центробѣжныхъ насосахъ достигали полезнаго дѣйствія въ 79%.

встрѣчаетъ довольно большое сопротивленіе, реакція котораго производитъ поднятіе вентиля. Этотъ подъемъ вентиля ограниченъ клапанной коробкой. Въ тотъ моментъ, когда вентиль ударяется о сѣдло клапанной коробки, проходъ черезъ него воды дѣлается невозможнымъ, и пріобрѣтенная находящимся въ движеніи водянымъ столбомъ энергія расходуется въ видѣ удара о клапанъ *B*, подымая его и выдавливая воду въ воздушный колпакъ *F*. Послѣ того какъ эта энергія большей частью превратится въ работу поднятія, движеніе по трубѣ *A* тотчасъ же прекращается, и нажимаемый пружиной *E* запорный вентиль, а также и нагруженный давленіемъ напорнаго трубопровода клапанъ *B* опускаются. Затѣмъ этотъ процессъ опять



Фиг. 214.

повторяется, причемъ происходитъ послѣдовательное нагнетаніе воды черезъ клапанъ *B* въ воздушный колпакъ *F*, изъ котораго она по напорной трубѣ *L* протекаетъ къ назначенному мѣсту. Отводъ рабочей воды производится по трубѣ *D*, а расположенный надъ клапанной коробкой колпакъ постоянно наполняется воздухомъ по трубкѣ *JK*, такъ что устранено разрѣженіе воздуха въ этомъ колпакѣ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и прекращеніе притока. Заимствуемый при *H* воздухъ, вслѣдствіе послѣдовательныхъ ударовъ воды о клапанъ *B*, вталкивается вмѣстѣ съ водой въ колпакъ *F*, такъ что при помощи снабженной воздушнымъ клапаномъ трубки *HG* происходитъ безпрерывное питаніе этого воздушнаго колпака воздухомъ.



Фиг. 215.

Этотъ приборъ имѣетъ преимущество предъ другими, въ которыхъ рабочая вода выбрызгивается въ *C*, вслѣдствіе чего въ машинномъ помѣщеніи заводится сильная сырость особенно неудобная въ зимнее время.

Одна изъ лучшихъ конструкцій гидравлическихъ таранъ (Декёра) показана въ разрѣзѣ на фиг. 215[1]); какъ видно изъ чертежа, въ этомъ таранѣ запорный вентиль и ударный клапанъ расположены другъ надъ другомъ, чѣмъ достигается высокій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія. Подвижность клапановъ здѣсь регулируется помощью пружинъ, допускающихъ измѣненіе числа толчковъ во время дѣйствія прибора. Этотъ таранъ былъ испытанъ въ Conservatoire des Arts et Métiers (въ Парижѣ), и при паденіяхъ рабочей воды выше 2 метр. далъ полезное дѣйствіе въ 80%; послѣднее еще составляло 66% при паденіи рабочей воды въ 0,30 метр. и высотѣ нагнетанія въ 9 метр.

[1]) Journal de l'Agriculture pratique. 11 Aug. 1892.

Теоретическое разсмотрѣніе дѣйствія гидравлическихъ таранъ и проч. здѣсь не приводится, такъ какъ желающіе могутъ найти его въ общихъ сочиненіяхъ по устройству насосовъ. Для вычисленія работоспособности и полезнаго дѣйствія обыкновенныхъ таранъ (съ приведенными ниже въ таблицѣ діаметрами трубъ и количествами рабочей воды) примѣняются формулы Эйтельвейна. Если обозначимъ:

черезъ H разность уровней бассейна рабочей воды и выпускнаго отверстія напорной трубы (уровня воды верхняго бака) въ метрахъ,

h разность уровней бассейна рабочей воды и выпускного отверстія запорнаго вентиля въ таранѣ въ метрахъ,

q количество воды, накачанной тараномъ черезъ напорную трубу, въ литрахъ въ секунду,

Q количество рабочей воды въ литрахъ въ секунду,

L длина провода рабочей воды въ метрахъ,

η полезное дѣйствіе тарана,

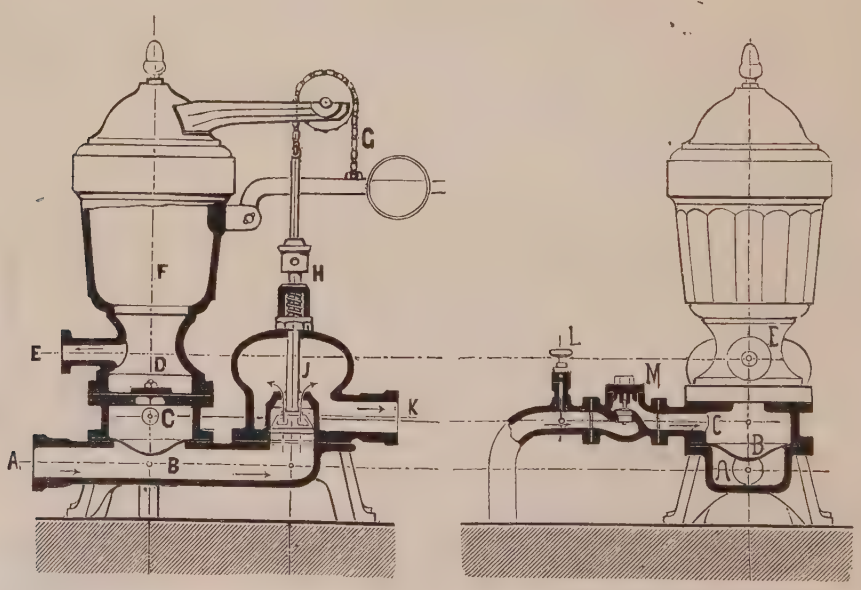
то получимъ

$$\eta = \frac{H^2}{(Q-q)\,h} = 1{,}12 - 0{,}2\sqrt{\frac{H}{h}};\quad L = H + 0{,}3\frac{H}{h}$$

η при этомъ большей частью оказывается слишкомъ большимъ. По первой изъ этихъ формулъ при среднемъ значеніи $\eta = 0{,}5$ и наибольшемъ его значеніи $\eta = 0{,}75$ получаемъ:

$$(\eta = 0{,}5)\ \ldots\ q = \frac{Qh}{2H+h};\qquad (\eta = 0{,}75)\ \ldots\ q = \frac{3Qh}{4H+3h}.$$

Если почему-либо подъемъ рабочей воды нежелателенъ, то гидравлическіе тараны могутъ быть устроены также для полученія воды изъ колодцевъ или ключей помощью особаго всасывающаго трубопровода. Подобный приборъ системы Дюрозуа показанъ на фиг. 216. Упругая оболочка B отдѣляетъ трубу для рабочей воды отъ всасывающаго и нагнетательнаго трубопроводовъ тарана. Эта упругая оболочка воспринимаетъ происходящіе при закрываніи вентиля въ J удары и передаетъ ихъ клапану D, причемъ всасывающій клапанъ M остается



Фиг. 216.

закрытымъ, между тѣмъ какъ вода подымается по трубѣ E. Когда затѣмъ происходитъ вытеканіе рабочей воды черезъ вентиль J, то оболочка обратно отгибается въ показанное на чертежѣ положеніе, причемъ по трубѣ C происходитъ всасываніе воды и т. д. Воздушный кранъ L допускаетъ регулированіе притока воздуха къ всасывающему воздушному колпаку F. Точная установка запорнаго вентиля при J производится помощью пружинъ и противовѣса GH.

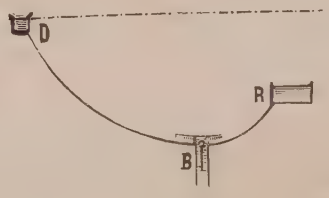
Подобнымъ же образомъ работаютъ приборы, въ которыхъ оболочка или діафрагма замѣнена дифференціальнымъ, поршнемъ а также и другіе. Само собой разумѣется, во всѣхъ этихъ таранахъ полезное дѣйствіе, вслѣдствіе производимой ими побочной работы, значительно меньше, нежели въ случаѣ, когда рабочая и поднимаемая вода одна и та же.

Гидравлическій таранъ представляетъ собой весьма часто примѣняемую водоподъемную машину, преимущественно при небольшихъ сооруженіяхъ; онъ примѣняется при количествѣ рабочей воды отъ 0,05 до 10 литр. въ секунду (а въ исключительныхъ случаяхъ даже и при большихъ количествахъ воды). Опытъ показываетъ, что правильно устроенные крупные приборы даютъ большее полезное дѣйствіе, чѣмъ небольшіе. При опредѣленіи размѣровъ проводовъ для рабочей и подымаемой воды можно обыкновенно руководствоваться слѣдующей таблицей:

Количество рабочей воды Q въ литрахъ въ секунду	0,05 до 0,1	0,10 до 0,25	0,25 до 0,50	0,50 до 1,00	1,00 до 2,00	2,00 до 5,00	5,00 до 10,00
Діаметръ трубы для рабочей воды въ миллиметрахъ	20	25	30	50	75	100	150
Діаметръ напорной трубы въ миллиметрахъ .	10	13	16	25	40	50	60

Въ обыкновенныхъ случаяхъ практики, при приведенныхъ въ этой таблицѣ данныхъ, длина провода рабочей воды даже при незначительной величинѣ H принимается не ниже 15 метр. Такъ какъ число ударовъ (ходовъ) тарана въ единицу времени приблизительно пропорціонально высотѣ рабочаго напора и обратно пропорціонально произведенію изъ скорости воды на длину провода [1]), то при длинныхъ проводахъ это произведеніе можетъ оставаться постояннымъ при соотвѣтственномъ уменьшеніи скорости, т. е. при увеличеніи діаметра трубъ. При очень длинныхъ проводахъ для рабочей воды вблизи мѣста установки тарана можетъ быть поставленъ промежуточный бассейнъ. При измѣненіи количества рабочей воды Q измѣняются также условія работы тарана, вслѣдствіе чего необходимо соотвѣтственно измѣнять ходъ или нагрузку запорнаго вентиля. Если измѣненіе количества рабочей воды бываетъ весьма значительно, то выгоднѣе будетъ установить 2 тарана или болѣе съ различными расходами воды.

Струйные насосы (водоструйные, воздухоструйные, пароструйные приборы). Если при какомъ-нибудь водоснабженіи имѣется вода подъ чрезмѣрно высокимъ напоромъ, но въ недостаточномъ количествѣ, между тѣмъ какъ на нѣкоторой глубинѣ имѣется вода въ достаточномъ количествѣ, и ее требуется поднимать на сравнительно небольшую высоту, то при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ — при допущеніи незначительнаго полезнаго дѣйствія водяной силы, получаемой изъ рабочаго провода—

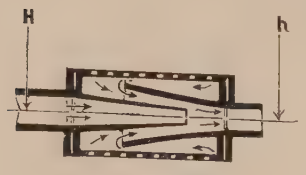


Фиг. 217.

[1]) Если u обозначаетъ среднюю скорость рабочей воды $[(0 + u_{max.}) : 2]$, а высота паденія ея значительно меньше высоты нагнетанія, то число ударовъ тарана въ минуту приблизительно будетъ $n = \frac{147 \cdot h}{L \cdot u}$, гдѣ L—длина провода рабочей воды.

могутъ быть примѣнены водоструйные насосы. Если D (фиг. 217) означаетъ ключевой бассейнъ или резервуаръ водопровода высокаго напора, то помощью расположеннаго въ B струйнаго аппарата вода резервуара D можетъ поднимать нѣкоторое количество воды изъ колодца B въ резервуаръ R, лежащій ниже резервуара D. Чѣмъ больше напоръ въ проводѣ DB, тѣмъ большее количество воды можетъ быть выкачано изъ колодца B и обратно.

Струйный аппаратъ схематически изображенъ на фиг. 218. Количество напорной воды q проходитъ съ весьма большой скоростью черезъ коническую трубку или наконечникъ, входящій въ снабженную обратнымъ конусомъ выпускную трубу, причемъ увлекаетъ съ собой изъ колодца нѣкоторое количество воды Q, соединяющейся съ q и вытекающей при R. Если H обозначаетъ манометрическую высоту напора воды до ея поступленія въ трубу, h—высоту напора въ проводной трубѣ за R сзади аппарата, ($\eta < 1$) представляетъ собой зависящій отъ конструкціи прибора эмпирическій коэффиціентъ, то приблизительно существуютъ слѣдующія зависимости: $\eta q H = (q + Q)\, h$, $Q = q\,\frac{\eta H - h}{h}$. Величина η по опытамъ Ibell колеблется между 0,08 и 0,23 и по теоретическимъ соображеніямъ никогда не можетъ быть больше 0,5.



Фиг. 218.

Доставляемые хорошими заводами струйные насосы довольно дешевы и просты и работаютъ безпрерывно весьма продолжительное время безъ всякаго ремонта; такимъ образомъ они могутъ примѣнены во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда можно довольствоваться небольшимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія.

Подобнымъ же образомъ, какъ и поступающая изъ резервуара высокаго давленія вода, для дѣйствія струйныхъ насосовъ можетъ быть примѣненъ сжатый воздухъ или паръ. При употребленіи пара поднимаемая вода нагрѣвается, такъ что подобные аппараты находятъ себѣ примѣненіе въ исключительныхъ только случаяхъ. Сжатый воздухъ, наоборотъ, нашелъ себѣ весьма обширное примѣненіе для струйныхъ аппаратовъ, несмотря на незначительное ихъ полезное дѣйствіе, что, конечно, имѣетъ мѣсто и въ пароструйныхъ аппаратахъ.

Для подыманія воды изъ небольшихъ буровыхъ скважинъ въ Америкѣ очень часто примѣняется весьма простой воздухоструйный аппаратъ системы Поле. Воздухъ сжимается механическимъ путемъ тутъ же на мѣстѣ, нагнетаётся въ воздушный котелъ и помощью трубы проводится къ мундштуку, расположенному подъ подъемной трубой насоса. Принадлежащія къ аппарату 2 трубы занимаютъ весьма мало мѣста. Такимъ образомъ это приспособленіе оказывается практичнымъ при добываніи значительныхъ количествъ воды изъ небольшихъ буровыхъ скважинъ при значительномъ пониженіи уровня (напр. при пробныхъ буреніяхъ, промывкѣ буровыхъ скважинъ); этимъ аппаратомъ вода можетъ быть выкачана изъ наиболѣе глубокаго мѣста скважины при діаметрѣ ея въ 150 милим. въ количествѣ 9, при діаметрѣ 200 милим.—до 19, при діам. 250 милим.—до 31, а при діам. въ 300 милим.—до 44 литровъ въ секунду. Желающіе ближе ознакомиться съ этимъ аппаратомъ найдутъ болѣе подробныя о немъ данныя въ брошюрѣ: The Pholé lift-pumpe. By A. E. Schnee. New-York.

На теоріи струйныхъ насосовъ, подробно разработанной въ послѣднее время Грасгофомъ, мы здѣсь не можемъ подробно останавливаться. Вслѣдствіе разнообразій конструкцій этихъ приборовъ мы можемъ здѣсь указать на каталоги заводовъ: Кертинга въ Ганноверѣ, Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ, тамъ-же, Шефферъ и Валькеръ, А. Л. Г. Дене въ Галле, а также и другихъ извѣстныхъ арматурныхъ заводовъ [1]).

[1]) Эти каталоги имѣются на русскомъ языкѣ и высылаются представителями этихъ фирмъ въ Россіи.

Воздушные, газовые и паровые нагнетательные насосы. Сжатый воздухъ, какъ и паръ, примѣняются самымъ разнообразнымъ образомъ, но вообще рѣдко употребляются непосредственно для подыманія воды при водопроводныхъ сооруженіяхъ. Даваемое воздушными, газовыми и паровыми нагнетательными насосами полезное дѣйствіе незначительно, почему и примѣненіе этихъ приборовъ не всегда оказывается экономически выгоднымъ. Помимо примѣненія углекислаго газа для экстинкторовъ и воздуха для героновыхъ фонтановъ, для усиленія давленія въ пожарныхъ приспособленіяхъ въ театрахъ и проч., нельзя указать на другія области примѣненія газовыхъ нагнетательныхъ насосовъ.

Примѣненіе сжатаго воздуха изъ центральныхъ сооруженій въ видѣ двигательной силы для подыманія воды было указано выше.

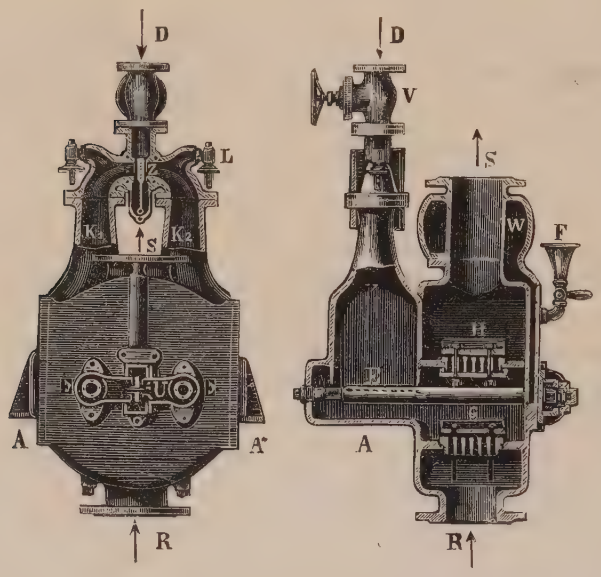
Исключеніе изъ этого правила составляютъ пульзометры или паровые сифоны, нашедшіе себѣ обширное примѣненіе, хотя они для опредѣленной работы поднятія воды расходуютъ больше пара, нежели хорошіе паровые насосы (не говоря уже о производимомъ ими нагрѣваніи подымаемой воды). Они представляютъ собой весьма компактные и надежно дѣйствующіе насосы, устанавливаются или подвѣшиваются весьма просто и могутъ быть съ успѣхомъ примѣнены при пробныхъ откачкахъ; вслѣдствіе нагрѣванія подымаемой воды они удобно могутъ служить для водоснабженія желѣзнодорожныхъ станцій и бань, а также и различныхъ промышленныхъ учрежденій. Подымаемая жидкость можетъ быть проведена на высоту, соотвѣтствующую давленію пара въ котлѣ; но при небольшихъ высотахъ нагнетанія давленіе пара должно преодолѣть приблизительно двойное давленіе водяного столба, а при болѣе значительныхъ высотахъ — давленіе, по меньшей мѣрѣ на 1,5 атмосферы превышающее давленіе водяного столба, вслѣдствіе чего (а также вслѣдствіе уменьшенія давленія отъ охлажденія трубъ и проч.) высота поднятія воды этими приборами ограничивается 30 метрами. Высота всасыванія не должна превышать 3—4 метровъ, а если возможно, то должна быть еще меньше.

Предложенная впервые Голлемъ въ Нью-Іоркѣ въ 1871 году конструкція пульзометра съ теченіемъ времени подвергалась весьма существеннымъ усовершенствованіямъ, которыхъ можно еще ожидать и въ будущемъ. Въ настоящее время различаютъ пульзометры простого дѣйствія, т. е. такіе, въ которыхъ паръ въ одной и той же камерѣ дѣйствуетъ нагнетающимъ образомъ, а затѣмъ послѣ конденсаціи — всасывающимъ образомъ, и пульзометры двойного дѣйствія, въ которыхъ имѣются двѣ паровыхъ камеры, дѣйствующихъ попеременно всасывающимъ и нагнетающимъ образомъ при общемъ паропроводѣ. Къ этой же категоріи водоподъемныхъ машинъ принадлежатъ діафрагмовые насосы (безъ поршней), въ которыхъ попеременнымъ давленіемъ и конденсаціей пара вызываются всасывающія и нагнетательныя движенія діафрагмы или оболочки.

Мы здѣсь, конечно, не можемъ входить въ подробное описаніе всѣхъ этихъ приспособленій. Но тѣмъ не менѣе считаемъ нелишнимъ привести здѣсь въ видѣ примѣра описаніе одного изъ этихъ приборовъ системы Кертинга, изображеннаго на фиг. 219. Онъ отличается отъ другихъ подобныхъ приборовъ своеобразнымъ распредѣлительнымъ органомъ для впрыскиваемой воды, допускающимъ регулированіе прибора какъ по времени, такъ и по количеству даваемой имъ воды. Вслѣдствіе этого коэффиціентъ полезнаго дѣйствія получается довольно высокій, и этимъ приборомъ можетъ быть произведено всасываніе изъ глубины до 6 метровъ.

Своеобразность прибора состоитъ въ томъ, что каждый разъ при опорожниваніи (выдавливаніи) какой либо камеры впрыскивательный воздушный котелъ W снова наполняется водой изъ этой камеры, и эта вода проходитъ мимо впрыскивающей трубы E и распредѣли-

тельнаго органа U, такъ что въ воздушномъ котлѣ образуется давленіе, соотвѣтствующее высотѣ нагнетанія. Тотчасъ же послѣ опорожненія камеры вода такимъ же путемъ устремляется изъ воздушнаго котла обратно въ камеру; сильнымъ притокомъ воды, раздѣленной на множество струй, паръ конденсируется, и паровой золотникъ или язычекъ вслѣдствіе образовавшейся пустоты переводитъ паръ; измѣненіемъ давленія въ камерахъ распредѣлительный органъ перемѣщается и останавливаетъ впрыскиваніе изъ опорожненной камеры; въ то время какъ вслѣдствіе быстраго впрыскиванія и образованія пустоты одна камера производитъ всасываніе и заполняется, въ другой камерѣ повторяется вышеприведенный процессъ выталкиванія. Воздушный вентиль L служитъ для предупрежденія ударовъ въ камерахъ отъ устремляющейся къ нимъ воды, такъ какъ надъ водой всегда находится слой воздуха.



Фиг. 219.

Расходъ угля въ хорошихъ пульзометрахъ вообще можно принять 6 до 7 килогр. въ часъ на 1 полезную лошадиную силу, измѣряемую количествомъ подымаемой воды; однако, этотъ расходъ, естественно, зависитъ отъ рода употребляемаго котла, а также и отъ величины и конструкціи пульзометра.

Относительно нагрѣванія подымаемой пульзометромъ воды считаемъ нужнымъ замѣтить, что при обыкновенныхъ давленіяхъ впускаемаго пара отъ 2,5 до 4,5 атмосфер. выдѣляемое при конденсаціи 1 килограмма пара количество теплоты составляетъ въ среднемъ 640 калорій. Такимъ образомъ если въ минуту расходуется m килогр. пара (измѣряемыхъ у котла) и подымается n килогр. (литровъ) воды, то повышеніе температуры подымаемой воды составляетъ $\frac{640 \cdot m}{n}$. Впрочемъ, въ этомъ отношеніи можно руководствоваться данными завода, изготовившаго данный пульзометръ.

Принадлежности и детали водоподъемныхъ машинъ. Во всѣхъ насосахъ правильное дѣйствіе начинается лишь въ тотъ моментъ, когда всасывающая труба совершенно наполнена водой; поэтому при каждомъ насосѣ весьма цѣлесообразно имѣть приспособленіе для наполненія или наливанія всасывающей трубы. Всасывающіе и нагнетательные воздушные котлы насосовъ требуютъ регулированія заключающагося въ нихъ количества воздуха; поэтому необходимо устроить при нихъ воздухопроводы и снабжать ихъ водомѣрными стеклами для опредѣленія снаружи правильнаго ихъ заполненія воздухомъ. Такъ какъ въ нерабочее время насоса напорная труба должна быть закрыта и уединена отъ насоса, что необходимо наблюдать за тѣмъ, чтобы дѣйствіе насоса началось не раньше открытія сообщенія его съ напорной трубой. Затѣмъ мы считаемъ необходимымъ имѣть манометръ и вакуметръ при нагнетательномъ и всасывающемъ воздушныхъ котлахъ, а иногда даже и ртутный манометръ для провѣрки показаній инструментовъ. При совершенномъ устройствѣ необходимы

также счетчики оборотовъ, показывающіе работу водоподъемныхъ машинъ вообще, и индикаторы, служащіе для сниманія рабочихъ діаграммъ съ двигателей и насосовъ. Весьма полезно имѣть на напорной трубѣ сигнальный аппаратъ для указанія изломовъ трубъ въ сѣти.

Если насосъ работаетъ съ клапанами, то пространство между всасывающимъ и нагнетательнымъ клапанами не должно содержать въ себѣ воздуха, для каковой цѣли у насосовъ дѣлаются приспособленія для наливанія и выпуски для воздуха.

При паровыхъ насосахъ необходимо еще обращать вниманіе на слѣдующія обстоятельства. Во всѣхъ мѣстахъ паропроводовъ, парораспредѣлительныхъ органовъ и паровыхъ цилиндровъ, гдѣ можетъ происходить скопленіе конденсаціонной воды, если только эта вода сама собой не получаетъ выхода при работѣ машины (какъ въ пульзометрахъ и проч.), должны быть устроены спускные краны, которыя можно было бы удобно и легко обслуживать. Для выгодной работы машины всѣ ея части, которыя могутъ быть нагрѣты паромъ, должны быть по возможности покрыты теплонепроницаемыми оболочками для предохраненія ихъ отъ охлажденія лучеиспусканіемъ, т. е. для уменьшенія образованія конденсаціонной воды до минимума. Если машина работаетъ безъ холодильника, то на паровыпускной трубѣ полезно поставить отдѣлитель или отводчикъ воды изъ выпускаемаго пара, для предупрежденія обратнаго поступленія содержащейся въ немъ воды въ паровой цилиндръ. Передъ пусканіемъ водоподъемной машины необходимо каждый разъ выпускать всю накопившуюся конденсаціонную воду, преимущественно изъ парового цилиндра черезъ продувательные краны; въ противномъ случаѣ легко могутъ произойти поломки. Каждый паровой цилиндръ долженъ быть снабженъ двумя смазочными приспособленіями, изъ коихъ одно дѣйствуетъ постоянно, а другое служитъ для моментально требующагося смазыванія. Точно также всѣ салазки, рычаги, цапфы и осевыя подушки должны быть снабжены правильно дѣйствующими смазочными приспособленіями (масленками), а подъ ними должны быть установлены чашки или корытца для стока отработавшаго масла. Относительно установки котловъ и ихъ арматуры въ каждой странѣ существуютъ особыя правила, которыми обязательно руководствоваться.

Конструкція отдѣльныхъ деталей также имѣетъ весьма существенное вліяніе на дѣйствіе и прочность водоподъемныхъ сооруженій. Сюда относятся насосныя станины, цилиндры, поршни, вентиля и воздушные котлы. Поэтому разсмотримъ здѣсь вкратцѣ эти детали.

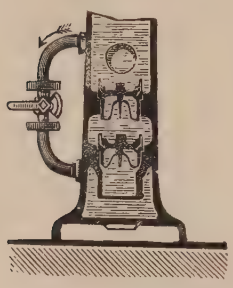
Наполненіе всасывающаго трубопровода водой производится различными способами: иногда посредствомъ засасыванія помощью самого насоса или помощью особаго всасывающаго аппарата (см. выше центробѣжные насосы), иногда отъ напорной трубы, а иногда отъ руки черезъ воронку. Всасываніе самимъ насосомъ допускается всегда при небольшихъ высотахъ всасыванія и представляетъ собой простѣйшій способъ наполненія трубы; единственно при этомъ только способѣ можно обойтись безъ нижняго всасывающаго клапана, что въ свою очередь составляетъ весьма важное преимущество въ виду трудности доступа къ этому клапану и развиваемаго имъ сопротивленія проходу воды [1]). Но если высота всасыванія превышаетъ 2 метр., то выкачиваніе воздуха насосомъ можетъ представлять собой нѣкоторыя затрудненія. Поэтому въ подобныхъ случаяхъ непосредственно надъ всасывающей корзинкой или сѣткой устраивается шарнирный клапанъ, дозволяющій наполнять трубу сверху и препятствующій вытеканію налитой воды. Если вода для наполненія всасывающей трубы заимствуется изъ напорнаго трубопровода, то примѣняется приспособленіе, подобное изображенному на фиг. 220, т. е. соединительная трубка, идущая отъ нагнетательнаго ко всасывающему пространству и снабженная краномъ. Наполненіе всасывающей трубы отъ руки помощью воронки настолько просто, что мы на этомъ устройствѣ останавливаться не будемъ.

Проводъ воздуха къ воздушнымъ котламъ производится посредствомъ расположеннаго надъ всасывающимъ вентилемъ, или соотвѣтственно надъ всасывающимъ воздушнымъ котломъ, воздушнаго винтового крана, изображеннаго на фиг. 221. Положеніе этого

[1]) Въ Парижскихъ водопроводахъ устранены нижніе всасывающіе клапана, и выкачиваніе воздуха изъ всасывающихъ трубъ производится самими насосами

крана показано буквой *s* на фиг. 202. Такъ какъ во время работы насоса во всасывающемъ пространствѣ существуетъ давленіе, меньшее атмосфернаго, то открываніемъ этого крана (по мощью винта) можетъ быть впущено желаемое въ каждомъ данномъ случаѣ количество воздуха.

Закрываніе напорной трубы производится посредствомъ задвижки или вентиля, или же черезъ такъ называемый обратный клапанъ, показанный на фиг. 222. Этотъ клапанъ открывается самъ собой при началѣ дѣйствія насоса и остается открытымъ во все время работы, не измѣняя своего положенія при каждомъ ходѣ насоса. Положеніе клапана можетъ быть регулировано извнѣ помощью рычага, по положенію котораго можно снаружи опредѣлить положеніе этого клапана. Доступъ къ этому клапану происходитъ черезъ отверстіе, закрываемое крышкой.



Фиг. 220.

Что касается счетчиковъ оборотовъ, манометровъ, вакуметровъ, ртутныхъ манометровъ, индикаторовъ и проч., то свѣдѣнія о нихъ можно найти въ подробныхъ каталогахъ арматуръ и принадлежностей водопроводовъ.

Насосныя станины (рамы) и цилиндры насосовъ прежде всего должны быть построены съ небольшимъ натяженіемъ матеріала при работѣ, такъ какъ эти части постоянно подвергаются болѣе или менѣе значительнымъ сотрясеніямъ, расширеніямъ отъ теплоты и т. под., а слѣд. неодинаковымъ временнымъ растяженіямъ и сжатіямъ; на это обстоятельство необходимо особенно обращать вниманіе, если обѣ эти части насоса сдѣланы изъ чугуна (какъ это обыкновенно дѣлается). Необходимо обращать серьезное вниманіе на достаточную толщину стѣнокъ и правильное распредѣленіе массъ матеріала. Если насосъ устанавливается на балкахъ, то вѣсъ послѣднихъ долженъ быть выбранъ такъ, чтобы при дѣйствіи насоса не получалось никакихъ колебаній и качаній (преимущественно при ременной передачѣ). Кромѣ того устройство насоса должно удовлетворить безусловному требованію легкости доступа ко всѣмъ внутреннимъ частямъ насоса и удобства замѣны ихъ въ случаѣ надобности.

При насосахъ съ перемѣнно-поступательнымъ движеніемъ поршней послѣдніе играютъ весьма важную роль. Уходъ и содержаніе въ исправности ныряльныхъ поршней легче, нежели плоскихъ дисковыхъ; кромѣ того всякія неплотности этихъ поршней узнаются гораздо легче, нежели въ дисковыхъ поршняхъ, движущихся въ закрытыхъ цилиндрахъ; при слишкомъ слабо пригнанныхъ поршневыхъ кольцахъ или набивкѣ эти поршни даютъ весьма небольшое полезное дѣйствіе, а при слишкомъ туго пригнанныхъ набивочныхъ кольцахъ развивается сильное треніе, влекущее за собой помимо значительнаго расхода силы еще и сильное изнашиваніе цилиндра. Поэтому, преимущественно при дисковыхъ или плоскихъ поршняхъ, необходимо обращать вниманіе на раціональную ихъ конструкцію.

Фиг. 221.

Фиг. 222.

Вентили или клапана, примѣняемые въ насосахъ, представляютъ собой наиболѣе важныя и чувствительныя части этихъ машинъ. Въ самодѣйствующихъ вентиляхъ весьма важно, чтобы поперечное сѣченіе для прохода воды и сопротивленіе открыванію клапана находились въ извѣстномъ соотношеніи къ количеству и напору накачиваемой воды. При тихоходныхъ насосахъ это достигается сравнительно легко. Въ быстроходныхъ же насосахъ выполненіе этихъ условій въ періодъ уменьшенія скорости весьма затруднительно; для достиженія этой цѣли употребляются различные способы: тяжелые клапана (большія нагрузки клапановъ), значительныя поперечныя сѣченія прохода при небольшихъ подъемахъ клапановъ и т. д., и кромѣ того произведены различные опыты, и предложены различныя устройства, но безъ вполнѣ удовлетворительнаго результата. Въ общемъ предпочитаются простые клапаны (фиг. 203) или кольцевые вентили (фиг. 202), а при большихъ поперечныхъ сѣченіяхъ проходовъ такъ называемые этажные клапаны (см. ниже фиг. 227). Недостатки самодѣйствующихъ вентилей устранены въ распредѣлительныхъ вентиляхъ системы Ридлера, которыя открываются автоматически и не ограничены въ своемъ ходѣ, но плотно закрываются до окончанія хода поршня посредствомъ распредѣлительнаго механизма. При этихъ вентиляхъ возможно достигнуть большого числа оборотовъ насоса безъ ударовъ; при обыкновенныхъ-же самодѣйствующихъ вен-

тиляхъ для предупрежденія ударовъ число оборотовъ насоса должно быть ограничено тѣмъ болѣе, чѣмъ больше количество подымаемой воды, и чѣмъ больше высота подъема.

Воздушные котлы тоже представляютъ собой приспособленіе, весьма важное во всякой водоподъемной машинѣ. Относительно мѣста расположенія воздужныхъ котловъ и ихъ величины мы упомянули выше. Само собой разумѣется, что размѣры воздушныхъ котловъ могутъ быть вычислены по данной допускаемой степени неравномѣрности, т. е. по даннымъ допускаемымъ предѣламъ колебаній давленія воды въ воздушномъ котлѣ, или давленія заключающагося въ немъ воздуха. Вертикальное расположеніе воздушнаго котла представляетъ собой наиболѣе цѣлесообразное, такъ какъ оно допускаетъ меньшія поверхности соприкосновенія между водой и воздухомъ, нежели въ случаѣ горизонтальнаго воздушнаго котла, и такъ какъ при горизонтальномъ воздушномъ котлѣ, а слѣд. и продолговатой формѣ площади соприкосновенія между водой и воздухомъ, происходитъ сильное волненіе уровня воды, вызывающее нежелательное поступленіе воздуха изъ всасывающаго воздушнаго котла въ насосъ и соотвѣтственно изъ нагнетательнаго котла въ напорный трубопроводъ.

Построенныя водоподъемныя машины. Въ странахъ со свободной конкуренціей, при сильно развитой промышленности и не слишкомъ высокой заработной платѣ, опредѣленные однобразные типы водоподъемныхъ машинъ примѣняются весьма рѣдко. Въ этихъ случаяхъ для всѣхъ болѣе крупныхъ сооруженій водоподъемныя машины изготовляются по соображенію съ спеціальными потребностями каждаго отдѣльнаго случая, такъ что машиностроительные заводы предлагаютъ различныя конструкціи, которыя въ большей или меньшей степени соотвѣтствуютъ требованіямъ заказчика или его техническаго представителя, удовлетворяя принципу наименьшей стоимости, т. е. наименьшаго годоваго расхода на дѣйствіе, проценты и амортизацію. При этомъ получается лучшая, хотя по начальной стоимости болѣе дорогая, но болѣе солидная конструкція, наиболѣе подходящая къ даннымъ условіямъ. Къ общему заданію о подыманіи извѣстнаго количества воды на опредѣленную высоту въ данное время присовокупляютъ еще побочныя заданія, вытекающія изъ мѣстныхъ условій, такъ что если при какомъ-либо другомъ заданіи нѣкоторые факторы получаются даже одинаковыми, какъ и въ данномъ случаѣ, то тѣмъ не менѣе одинаковое рѣшеніе обѣихъ задачъ получается весьма рѣдко.

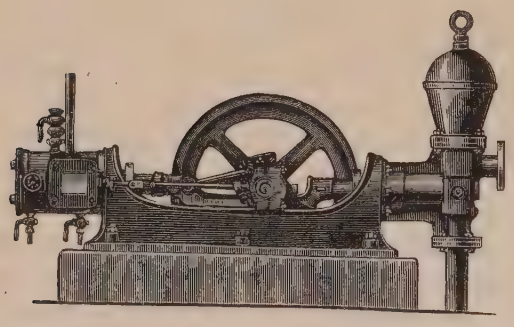
Независимо отъ этого существуетъ массовое производство водоподъемныхъ машинъ, т. е. опредѣленные типы и размѣры этихъ машинъ. Довольно обширное примѣненіе этихъ машинъ объясняется сравнительно невысокой ихъ стоимостью, а также и возможностью быстрой замѣны всякой части машины и немедленнаго полученія всей машины (изъ склада). Примѣненіе этихъ машинъ представляетъ собой особыя преимущества въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ заработная плата, а слѣдовательно и стоимость исправленія и проч., слишкомъ высока, причемъ исправленіе не всегда можетъ быть произведено скоро и успѣшно. Въ этихъ случаяхъ можно не ставить на первомъ планѣ наивыгоднѣйшаго дѣйствія машины, а болѣе всего имѣть въ виду непрерывное ея дѣйствіе — возможность имѣть подъ руками различныя запасныя части машины, а также и возможность скораго пріобрѣтенія новой подобной машины въ случаѣ надобности. Впрочемъ, на почвѣ свободной конкуренціи выработались весьма хорошія конструкціи машинъ, такъ что во многихъ случаяхъ, преимущественно при небольшихъ сооруженіяхъ, примѣненіе этихъ машинъ даже съ точки зрѣнія наименьшей стоимости можетъ быть рекомендовано скорѣе, нежели указаніе какихъ-либо вновь придуманныхъ заказчикомъ устройствъ.

Мы предпослали эти замѣчанія съ тѣмъ, чтобы излагаемыя ниже описанія нѣкоторыхъ системъ машинъ были бы поняты вполнѣ правильно. Здѣсь совершенно невозможно сдѣлать выборъ такъ, чтобы одновременно были достигнуты всѣ удобства; мы можемъ только привести здѣсь нѣкоторые примѣры рѣшенія задачъ въ этой области для полученія нѣкотораго представленія объ этомъ вопросѣ.

Горизонтальные насосы съ непосредственной передачей силы. Эти машины могутъ быть рекомендованы въ тѣхъ случаяхъ, когда уровень всасыванія, даже при наибольшемъ его пониженіи, располагается на сравнительно небольшой глубинѣ подъ нагнетательнымъ клапаномъ насоса; тѣмъ не менѣе для паровыхъ насосовъ подобнаго рода наибольшимъ практическимъ предѣломъ цѣлесообразной величины насосовъ служитъ діам. паровaго цилиндра 1200 милим. и ходъ поршня въ 1800 милиметр.

Небольшіе паровые насосы, въ которыхъ паровой и водяной поршни расположены на одной горизонтальной линіи, изготовляются различными машиностроительными заводами и встрѣчаются въ продажѣ различныхъ моделей и размѣровъ.

Для небольшихъ сооруженій наиболѣе часто встрѣчаются насосы съ маховиками, изготовленіе которыхъ на нѣкоторыхъ заводахъ доведено до весьма высокой степени совершенства. На фиг. 223 показанъ типъ горизонтальнаго парового насоса завода Грицнеръ въ Дурлахѣ (Баденъ) для производительностей отъ 0,17 до 4,67 литр. въ секунду. Эти насосы требуютъ весьма мало мѣста и чрезвычайно доступны во всѣхъ своихъ частяхъ. Маховикъ расположенъ по срединѣ насоса, и для передачи движенія отъ парового поршня водяному служитъ передаточный органъ, непрепятствующій вывѣркѣ вала и удобному доступу къ пуговицѣ кривошипа. Шатунъ имѣетъ здѣсь 5-и кратную длину кривошипа, какъ это обыкновенно принято для паровыхъ машинъ. Двухсѣдельные насосные клапаны съ большими сѣдельными поверхностями обезпечиваютъ плотный запоръ и удовлетворительное полезное дѣйствіе насоса; клапаны имѣютъ большое поперечное сѣченіе и незначительный ходъ, чѣмъ достигается возможность сообщать насосамъ большія числа оборотовъ, какъ приведено въ слѣдующей таблицѣ, при плавномъ спокойномъ ходѣ и при незначительныхъ размѣрахъ другихъ частей.



Ф. 223. Горизонтальный паровой насосъ.

Нумеръ насоса.	1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметръ ныряла въ миллим.	40	50	60	70	80	100	125	150
Діам. паров. цилиндра въ миллим. . . .	65	80	95	110	130	150	175	200
Ходъ поршней въ миллим.	60	80	100	120	140	160	200	250
Число оборотовъ въ минуту.	150	140	130	120	110	100	85	70
Производительность въ литр. въ минуту.	10	20	33	50	70	110	185	280
Діам. всасывающей и напорной трубы въ миллим.	35	40	45	50	60	80	100	125
Діам. паровпускной трубы въ миллим. .	15	15	20	20	25	30	35	40
Діам. паровыпускной трубы въ миллим. .	20	22	25	25	30	35	40	50

Галльскій машиностроительный заводъ въ Галле изготовляетъ небольшіе и средніе горизонтальные паровые насосы двойного дѣйствія съ дисковыми или плоскими поршнями съ манжетами производительностью отъ 2 до 80 литр. воды въ секунду для обыкновенно встрѣчающихся при городскихъ водоснабженіяхъ высотъ подъема до 80 метр. слѣдующихъ нумеровъ:

№ насоса.	Производительность въ минуту литр.	Діаметръ		Ходъ поршня миллим.	Число оборотовъ въ минуту.	Діаметры трубъ				Приблизительный вѣсъ килогр.
		насосн. цилиндра миллим.	парового цилиндра миллим.			всасывающей милл.	напорной милл.	паровпускной милл.	паровыпускной милл.	
1	167	65	120	160	120	50	40	26	33	500
2	233	85	120	160	95	60	50	26	33	570
3	267	85	150	200	80	65	60	33	40	1000
4	400	110	150	200	75	80	65	33	40	1250
5	500	110	180	260	70	90	80	33	40	1500
6	633	130	180	260	65	100	90	33	40	1700
7	750	130	220	320	60	100	100	45	60	1900
8	1000	160	220	320	55	125	100	45	60	2200
9	1333	160	260	400	55	150	125	45	60	3400
10	1833	180	300	400	55	175	150	50	65	3700
11	2333	200	300	500	50	200	175	50	75	4000
12	2667	230	300	500	45	200	175	65	75	4200
13	3083	250	350	500	40	225	175	65	75	5000
14	3333	250	350	600	38	225	175	75	75	5800
15	4333	300	400	600	35	250	200	75	90	6800
16	5000	340	420	600	30	300	250	90	100	7800

На слѣдующей таблицѣ приведены данныя для различныхъ нумеровъ малыхъ и среднихъ горизонтальныхъ паровыхъ ныряльныхъ насосовъ съ двумя цилиндрами (dupplex) прямого дѣйствія завода Дене въ Галле для обыкновенно встрѣчающихся при городскихъ водоснабженіяхъ высотъ напора до 80 метр. и для производительности отъ 1,3 до 100 литр. въ секунду [1]).

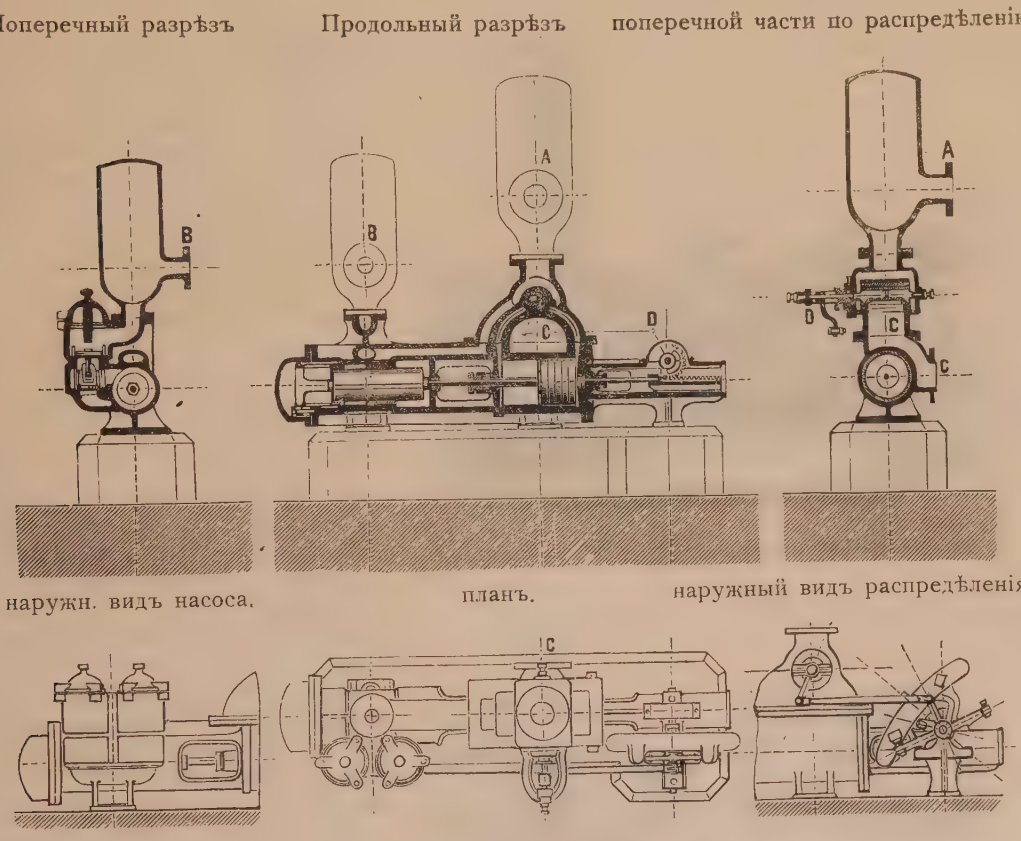
[1]) Подобные же нормальные размѣры насосовъ существуютъ на всѣхъ болѣе или менѣе крупныхъ машиностроительныхъ заводахъ, занимающихся изготовленіемъ насосовъ; въ виду невозможности привести здѣсь эти данныя всѣхъ заводовъ мы отсылаемъ интересующихся къ спеціальнымъ каталогамъ заводовъ. При небольшихъ сооруженіяхъ непосредственное полученіе подобныхъ насосовъ, какъ упомянуто выше, имѣетъ весьма много преимуществъ предъ спеціальными заказами.

№№ насосовъ.	Діаметръ		Ходъ поршня милим.	Наибольшая производительность въ минуту литр.	Діаметръ всасывающихъ и напорныхъ трубъ милим.
	насоснаго поршня милим.	парового цилиндра милим.			
3 a	50	80	130	80	50
3 b	50	100	130	80	50
4 a	65	100	160	150	60
4 b	65	125	160	150	60
5 a	80	125	200	217	80
5 b	80	150	200	217	80
6 a	100	150	250	417	100
6 b	100	200	250	417	100
7 a	125	175	300	667	125
7 b	125	250	300	667	125
8 a	150	200	350	1000	150
8 b	150	300	350	1000	150
9 a	175	250	400	1333	175
9 b	175	350	400	1333	175
10 a	200	300	500	2000	200
10 b	200	400	500	2000	200
11	250	350	600	3333	225
12	300	400	800	6000	250

Само собой разумѣется, что горизонтальные насосы съ непосредственною передачей силы могутъ быть устроены также для дѣйствія газомъ, сжатымъ воздухомъ, водой (напорной) и т. д., и при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ они обладаютъ тѣми же преимуществами, что и паровые насосы.

Изъ различныхъ подобнаго рода водоподъемныхъ машинъ укажемъ здѣсь на приспособленную для подыманія небольшихъ количествъ воды и работающую напорною водой водоподъемную машину съ двигателемъ Гилдебранда, въ которой рабочій и насосный поршни расположены на одной горизонтальной оси. Эти машины изготовляются на заводѣ Клейнъ, Шанцлинъ и Бекеръ въ Франкенталѣ по показанному на фиг. 224 чертежу. Этотъ насосъ работаетъ вполнѣ автоматически, т. е. онъ начинаетъ работать, какъ только изъ идущей отъ насоса напорной трубы *B* заимствуется вода. Распредѣленіе или перемѣна хода производится постепенно отдѣльными толчками помощью передвигающагося рычага и распредѣлительной штанги *D*, какъ показано на чертежѣ. Напорная или рабочая вода поступаетъ при *A* и посредствомъ распредѣлительнаго механизма поступаетъ въ рабочій цилиндръ то справа, то слѣва рабочаго поршня, дѣйствующаго на соединенный съ нимъ посредствомъ горизонтальнаго поршневого штока насосный ныряльный поршень. Отработавшая вода вытекаетъ при C. Изображенной здѣсь машиной подымается та же рабочая вода, которая служитъ для ея дѣйствія; само собой разумѣется, что при отсутствіи соединительной трубы между рабочимъ и насоснымъ цилиндромъ машина можетъ служить для качанія воды изъ всякаго водоема или колодца. Единственный требуемый машиной уходъ состоитъ въ ея смазываніи, обыкновенно производящемся разъ въ недѣлю. Главнымъ условіемъ удовлетворительнаго дѣйствія этой

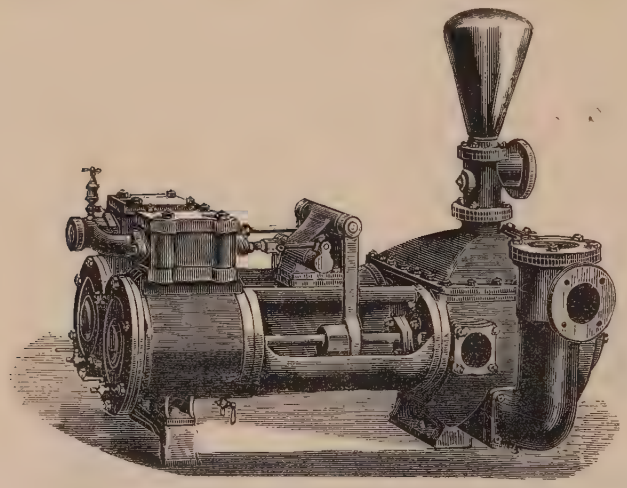
машины является чистая безъ содержанія песку вода, и поэтому эти насосы главнымъ образомъ могутъ быть рекомендованы для дѣйствія водой подъ умѣреннымъ напоромъ отъ городской водопроводной сѣти для снабженія водой отдѣльныхъ зданій, для которыхъ оказывается недостаточнымъ напоръ въ городской сѣти. Количества подымаемой воды обыкновенно колеблются между 0,2 и 2 литрами въ секунду; высота подъема достигаетъ до 200 метр., а полезное дѣйствіе машины составляетъ около 75 до 80%. Подобная машина вполнѣ удовлетворительно работаетъ уже въ теченіе 10 лѣтъ въ Нуштадтѣ для водоснабженія виллы Daqué изъ городской водопроводной сѣти.



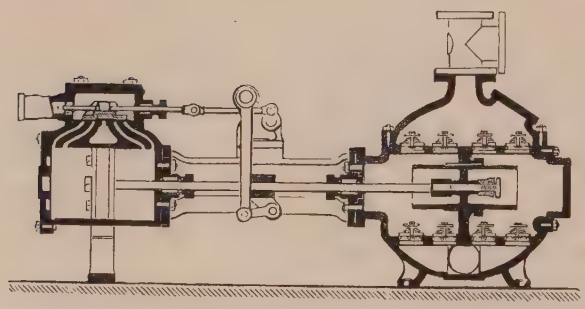
Фиг. 224. Моторъ Гильдебранда.

Къ паровымъ насосамъ прямого дѣйствія (безъ маховиковъ), въ которыхъ паровой и насосный поршни сидятъ на общемъ горизонтальномъ штокѣ, относятся весьма распространенный насосъ Вортингтона, показанный въ общемъ видѣ на фиг. 225 и въ продольномъ разрѣзѣ на фиг. 226. Въ этихъ насосахъ два паровыхъ и два водяныхъ цилиндра связаны между собой такъ, что золотникъ одного парового цилиндра приводится въ дѣйствіе поршневымъ штокомъ второго цилиндра, и обратно. Насосный поршень имѣетъ длинную направляющую и легко можетъ быть вынутъ изъ цилиндра для обточки или для замѣны его новымъ. Клапанная коробка раздѣлена на двѣ части помощью толстой раздѣлительной стѣнки, и насосъ представляетъ собой насосъ двойного дѣйствія, при чемъ насосный поршень расположенъ надъ всасывающими клапанами, чѣмъ устранено весьма вредное изнашиваніе его отъ песку и другихъ примѣсей къ водѣ. Отдѣльные клапана имѣютъ незначительные размѣры и состоятъ изъ круглыхъ резиновыхъ или каучуковыхъ шайбъ, покрытыхъ металлическими кружками и прижатыхъ къ сѣдламъ помощью спиральныхъ пружинъ; число клапановъ довольно велико, и замѣна ихъ не представляетъ никакихъ затрудненій. Всякая отдѣльная часть насоса можетъ быть получена съ завода Вортингтона или со склада его представителя, такъ что въ случаѣ поломки какой—либо части насоса она можетъ быть весьма скоро замѣнена новой, чѣмъ устраняются долговременныя остановки. Насосы строятся 30 или 40 различныхъ нумеровъ.

Наименьшіе изъ нихъ имѣютъ діам. парового цилиндра 76 миллим.. водяного цилиндра 38 миллим. и ходъ поршней 76 милим., и при числѣ ходовъ отъ 50 до 125 въ минуту производительность составляетъ отъ 0,3 до 0,7 литр. въ секунду. Наибольшій изъ строящихся насосовъ Вортингтона имѣетъ діаметръ парового цилиндра 635 миллим., водяного 387 милим., ходъ поршней 381 миллим. и число ходовъ отъ 25 до 50 въ минуту, при чемъ производительность составляетъ отъ 75 до 150 литр. подымаемой воды въ секунду. Для болѣе крупныхъ сооруженій насосы Вортингтона строятся также системы компоундъ (типа тандемъ). Оригинальные насосы Вортингтона построены чрезвычайно точно, весьма компактны и могутъ быть примѣнены для подъемовъ воды до 120 метр.



Фиг. 225. Наружный видъ насоса Вортингтона.



Фиг. 226. Продольный разрѣзъ насоса Вортингтона.

Насосы, подобные насосамъ Вортингтона, изготовляются также и нѣкоторыми Германскими заводами (подъ названіемъ насосовъ дуплексъ). Заводъ Клейнъ, Шанцлинъ и Бекеръ во Франкенталѣ строитъ подобные насосы для обыкновенно встрѣчаемыхъ при водоснабженіяхъ напоровъ. Заводъ Вейзе и Монскій въ Галле строитъ эти насосы для давленій до 1000 атмосферъ и производительностью до 167 литр. въ секунду. Насосы дуплексъ четверного дѣйствія сист. Вейза состоятъ изъ двухъ комбинированныхъ паровыхъ насосовъ прямого дѣйствія, поршни которыхъ установлены такъ, что постоянно одинъ изъ нихъ находится въ движеніи, между тѣмъ какъ другой находится въ своей мертвой точкѣ; поэтому эти насосы безъ посторонней помощи начинаютъ работать при всякомъ положеніи поршней. Оба паровыхъ цилиндра снабжены обыкновенными коробчатыми золотниками, которые попеременно переставляются поршневыми штоками сосѣднихъ паровыхъ цилиндровъ. Эта система парораспредѣленія допускаетъ большія скорости поршня. Каждый поршень по окончаніи своего хода долженъ остановиться и ждать, пока откроется соотвѣтствующій золотникъ, и получаемая такимъ образомъ пауза даетъ возможность насоснымъ клапанамъ сѣсть въ свои гнѣзда спокойно и безъ ударовъ. Для предупрежденія удара поршня въ крышку цилиндра парораспредѣленіе производитъ правильно дѣйствующее сжатіе отработавшаго пара, какъ это имѣетъ мѣсто въ паровыхъ машинахъ. Этотъ сжатый паръ вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ для начала слѣдующаго хода. Для впуска и выпуска пара устроены отдѣльные каналы, при чемъ внутреннія выпускныя окошки закрываются поршнемъ, когда онъ находится вблизи крышки.

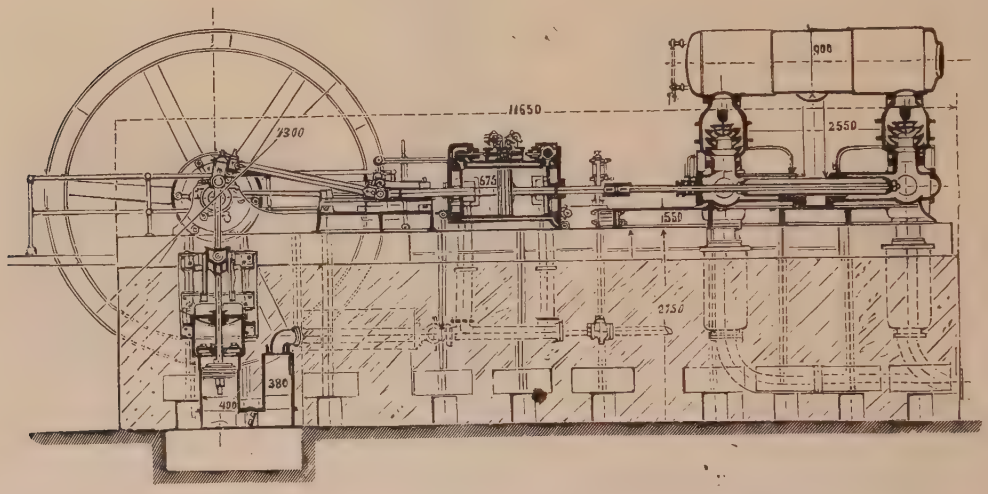
Насосы Вортингтона и другіе паровые насосы дуплексъ весьма недороги, какъ по начальной своей стоимости, такъ и по стоимости установки и ухода за ними; они занимаютъ мало мѣста и весьма прочны, но, какъ выше было указано, расходуютъ для своего дѣйствія больше пара, нежели хорошо построенныя машины съ маховиками, въ которыхъ правильно пользуются расширеніемъ пара.

Ввиду обширнаго примѣненія насосовъ Вортингтона для водопроводовъ считаемъ нелишнимъ привести здѣсь таблицу нормальныхъ размѣровъ различныхъ нумеровъ этихъ насосовъ съ показаніемъ ихъ производительности.

Размѣръ насосовъ въ дюймахъ.			Производительность насосовъ въ ведрахъ въ минуту.	Число ходовъ поршней въ минуту.	Діаметры трубъ въ дюймахъ			
Діаметръ парового цилиндра.	Діаметръ насоснаго цилиндра.	Ходъ поршней.			Паропроводной.	Паровыпускной.	Всасывающій.	Нагнетательный.
2	1 1/8	2 3/4	1/2 до 1 1/2	100 до 250	3/8	1/2	1	3/4
3	1 1/2	3	1 1/2 — 3 3/4	100 — 250	3/8	1/2	1 1/4	1
3	1 3/4	3	2 — 4 3/4	100 — 250	3/8	1/2	1 1/4	1
3	2	3	2 1/4 — 5 1/2	100 — 250	3/8	1/2	1 1/4	1
4 1/2	2 3/4	4	6 1/4 — 12 1/2	100 — 200	1/2	3/4	2	2
5 1/2	3 1/2	5	12 1/2 — 24	100 — 200	3/4	1 1/4	2 1/2	2 1/2
6	4	6	20 — 30	100 — 150	1	1 1/2	3	3
6	4 1/2	6	24 — 37	100 — 150	1	1 1/2	4	3
7 1/2	4 1/2	6	24 — 37	100 — 150	1 1/2	2	4	3
6	5	6	30 — 44	100 — 150	1	1 1/2	4	3
7 1/2	5	6	30 — 44	100 — 150	1 1/2	2	4	3
7 1/2	4 1/2	10	41 — 52	75 — 125	1 1/2	2	4	3
9	5 1/4	10	42 — 70	75 — 125	2	2 1/2	4	3
10	6	10	55 — 92	75 — 125	2	2 1/2	5	4
10	7	10	74 — 126	75 — 125	2	2 1/2	6	5
12	7	10	74 — 126	75 — 125	2 1/2	3	6	5
14	7	10	74 — 126	75 — 125	2 1/2	3	6	5
12	8 1/2	10	115 — 185	75 — 125	2 1/2	3	6	5
14	8 1/2	10	115 — 185	75 — 125	2 1/2	3	6	5
16	8 1/2	10	115 — 185	75 — 125	2 1/2	3	6	5
18 1/2	8 1/2	10	115 — 185	75 — 125	3	3 1/2	6	5
20	8 1/2	10	115 — 185	75 — 125	4	5	6	5
12	10 1/4	10	160 — 270	75 — 125	2 1/2	3	8	7
14	10 1/4	10	160 — 270	75 — 125	2 1/2	3	8	7
16	10 1/4	10	160 — 270	75 — 125	2 1/2	3	8	7
18 1/2	10 1/4	10	160 — 270	75 — 125	3	3 1/2	8	7
20	10 1/4	10	160 — 270	75 — 125	4	5	8	7
14	12	10	225 — 370	75 — 125	2 1/2	3	10	8
16	12	10	225 — 370	75 — 125	2 1/2	3	10	8
18 1/2	12	10	225 — 370	75 — 125	3	3 1/2	10	8
20	12	10	225 — 370	75 — 125	4	5	10	8
18 1/2	14	10	300 — 510	75 — 175	3	3 1/2	12	10
20	14	10	300 — 510	75 — 125	4	5	12	10
14	10	15	155 — 314	50 — 100	2 1/2	3	8	7
17	10	15	155 — 314	50 — 100	3	3 1/2	8	7
20	10	15	155 — 314	50 — 100	4	5	8	7
14	12	15	225 — 450	50 — 100	2 1/2	3	12	10
17	12	15	225 — 450	50 — 100	3	3 1/2	12	10
20	12	15	225 — 450	50 — 100	4	5	12	10
20	15	15	350 — 700	50 — 100	4	5	12	12
25	15	15	350 — 700	50 — 100	5	7	12	12

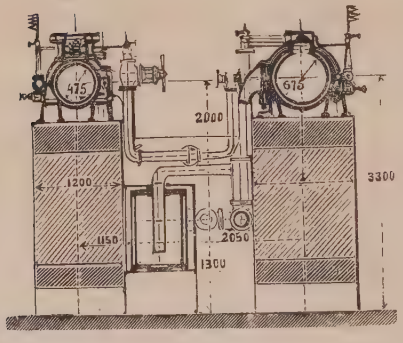
При значительныхъ водоподъемныхъ сооруженіяхъ, во многихъ случаяхъ примѣняются машины съ маховиками, какъ показано на фиг. 227, изображающей насосную машину городского водопровода въ Мюльгаузенѣ (Эльзасъ). Паровой и водяной поршни расположены на общемъ горизонтальномъ штокѣ. Машины—числомъ 4 — устроены системы компоундъ съ цилиндрами показанныхъ на чертежѣ размѣровъ, съ діам. ныряла насоса 235 миллим. и ходомъ поршня въ 1 метръ; нормальное число оборотовъ машины 27 въ минуту. Маховикъ при діаметрѣ 4,8 метр. имѣетъ вѣсъ въ 7000 килогр. Отработавшій въ маломъ цилиндрѣ (высокаго давленія) паръ до поступленія своего въ большой цилиндръ (низкаго давленія)

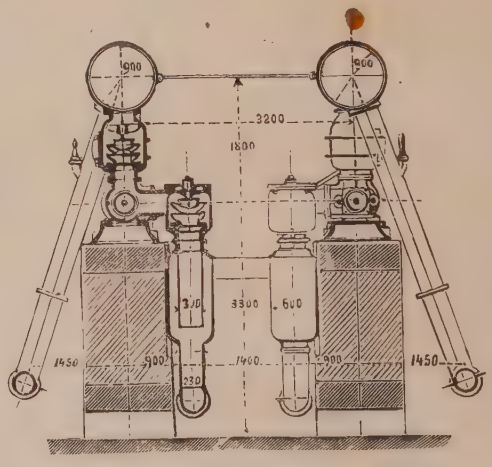
Продольный разрѣзъ.



Поперечный разрѣзъ по насосу.

Поперечный разрѣзъ по сдвоенной паровой машинѣ.





Фиг. 227. Водоподъемное сооруженіе въ Мюльгаузенѣ (Эльзасъ).

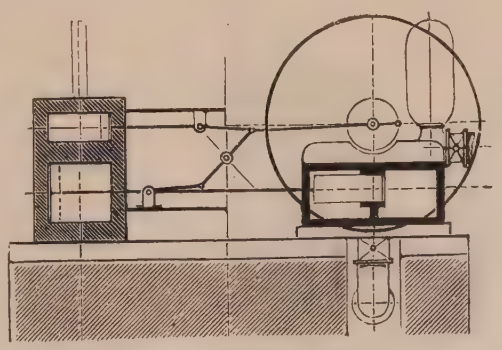
проходитъ черезъ ресиверъ, расположенный между фундаментами подъ цилиндрами и нагрѣваемый свѣжимъ паромъ изъ котла помощью двойной паровой рубашки. Отработавшій въ большомъ цилиндрѣ паръ поступаетъ въ конденсаторъ, размѣры воздушнаго насоса котораго показаны на чертежѣ. Всасывающій воздушный котелъ имѣетъ 7-ми кратный, а нагнетатель-

ный—48-ми кратный объемъ, описываемый за одинъ ходъ поршнемъ насоса. Всасывающія трубы діам. 250 миллим. каждой пары насосовъ направляются къ одной общей трубѣ діам. 350 миллим., проведенной ко всасывающему колодцу. Во всѣхъ трубопроводахъ скорость воды составляетъ 0,670 метр. въ секунду. Каждая пара насосовъ при 27 оборотахъ въ минуту даетъ около 70 литр. воды въ секунду; число оборотовъ машины можетъ быть повышено до 36 безъ появленія ударовъ. Въ 1892 г. уровень грунтовыхъ водъ понизился настолько, что предположено было устроить промежуточный подъемъ воды.

Въ общемъ, какъ было указано выше, преимущество системы машинъ съ паровымъ и водянымъ поршнями на одномъ общемъ горизонтальномъ штокѣ заключается въ удобствѣ непосредственной передачи силы и доступности отдѣльныхъ частей машины. Послѣднее удобство тѣмъ важнѣе, чѣмъ крупнѣе машина, т. е. чѣмъ тяжелѣе отдѣльныя ея части, для подъема которыхъ приходится прибѣгать къ помощи крановъ.

Недостатокъ горизонтальныхъ водоподъемныхъ машинъ состоитъ въ томъ, что при работѣ насоса должно быть преодолѣваемо треніе, вызываемое собственнымъ вѣсомъ движущихся частей машины. Вслѣдствіе этого при тяжелыхъ поршняхъ паровые цилиндры скоро принимаютъ овальную форму. При дисковыхъ насосныхъ поршняхъ подобное же явленіе замѣчается и въ насосныхъ цилиндрахъ, которые быстро приходятъ въ состояніе негодности, преимущественно если вода не совершенно чиста. При ныряльныхъ поршняхъ являются весьма значительныя сопротивленія отъ набивки сальниковъ, такъ какъ сальники должны быть весьма туго нажаты для плотнаго ихъ замыканія сверху, между тѣмъ какъ внизу нажимающій набивку вѣсъ ныряла увеличиваетъ одностороннее треніе въ этой части. Такъ какъ вслѣдствіе различнаго своего вѣса расположенные на горизонтальномъ штокѣ поршни, ныряла и проч. изнашиваются неравномѣрно, и поршневой штокъ испытываетъ постоянное натяженіе отъ односторонняго дѣйствія вѣса, то содержаніе въ исправности машины съ теченіемъ времени становится весьма затруднительнымъ. Кромѣ того не слѣдуетъ упускать изъ виду, что горизонтальныя машины съ маховиками занимаютъ весьма много мѣста въ сравненіи съ расположеніемъ поршней на вертикальномъ штокѣ.

Для устраненія послѣдняго неудобства въ Америкѣ строятся такъ называемые насосы Gaskill'я, схематически изображенные нами на фиг. 228. Они представляютъ собой компоундъ-машины съ маховиками, въ которыхъ цилиндръ высокаго давленія расположенъ надъ цилиндромъ низкаго давленія; поршневые штоки обоихъ цилиндровъ сочленены съ расположеннымъ между насоснымъ и паровыми цилиндрами качающимся коромысломъ. Въ то время какъ поршневой штокъ цилиндра низкаго давленія непосредственно приводитъ въ движеніе насосный поршень, поршневой штокъ цилиндра высокаго давленія соединенъ съ верхнимъ концомъ коромысла, отъ котораго помощью шатуна и кривошипа получаетъ движеніе расположенный надъ насосомъ валъ. Этимъ устройствомъ весьма замѣтно сберегается мѣсто, занимаемое машиной; но это сбереженіе мѣста достигается въ ущербъ доступности отдѣльныхъ частей машины.

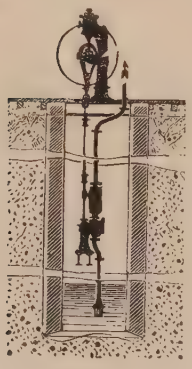


Фиг. 228. Насосъ Гаскиль.

Необходимо здѣсь также замѣтить, что—преимущественно при добываніи грунтовой воды—уровень воды при опредѣленномъ расходѣ съ теченіемъ времени часто опускается ниже того уровня, который былъ опредѣленъ предварительными изслѣдованіями, и это пониженіе можетъ происходить вслѣдствіе побочныхъ расходовъ воды вблизи водоемнаго зданія, или же вслѣдствіе образованія новаго состоянія равновѣсія, отличнаго отъ найденнаго при предварительныхъ изслѣдованіяхъ. Поэтому если съ самаго начала при наибольшемъ пониженіи уровня весьма близко подходятъ къ предѣльной мѣрѣ высоты всасыванія, то горизонтальное расположеніе водоподъемной машины является довольно рискованнымъ, такъ какъ легко можетъ статься, что съ теченіемъ времени явится необходимость устройства промежуточной водоподъемной станціи.

Кромѣ того, по нашему мнѣнію, весьма нераціонально располагатъ машины въ водонепроницаемыхъ помѣщеніяхъ съ цѣлью горизонтальнаго расположенія водоподъемнаго устройства съ непосредственной передачей силы; при такомъ расположеніи сильно страдаютъ какъ сами машины, такъ и люди, къ нимъ приставленные, безо всякой какой-либо экономіи сравнительно съ вертикально расположенными насосами или балансирными машинами.

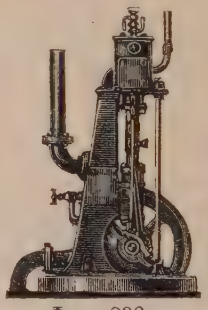
Вертикальный насосъ съ непосредственной передачей силы. Стоимость вертикальныхъ насосовъ обыкновенно нѣсколько выше стоимости горизонтальныхъ насосовъ [1]). Эти насосы примѣняются преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда наиболѣе низкій уровень всасыванія расположенъ на значительной глубинѣ подъ землей или подъ поломъ машиннаго помѣщенія, и когда для установки имѣется въ распоряженіи небольшая площадь пола. Такъ напр. эти насосы примѣняются при временныхъ водоподъемныхъ сооруженіяхъ въ видѣ такъ называемыхъ шахтныхъ насосовъ (фиг. 229). Насосъ устанавливается въ самой шахтѣ, а двигатель устанавливается на поверхности земли и соединяется съ насосомъ помощью штанги. При постоянныхъ же сооруженіяхъ обыкновенно устраивается отдѣльный насосный колодецъ, независимо отъ колодца для всасыванія, а въ послѣдній только подвѣшиваютъ всасывающую трубу для устраненія попаданія въ нее смазочнаго масла и проч. Подобное устройство тоже имѣетъ цѣлью возможное сбереженіе площади для установки насоса. Для этой цѣли употребляются также и встрѣчающіеся въ продажѣ вертикальные паровые насосы.



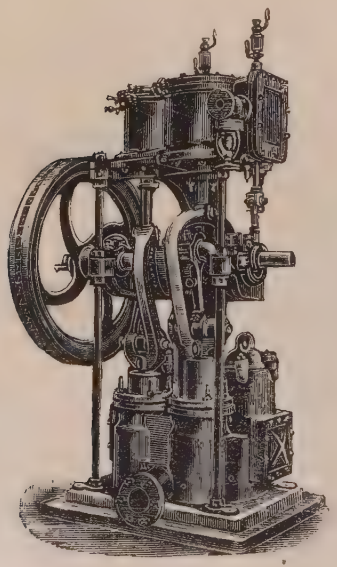
Фиг. 229.

Шахтный насосъ.

На фиг. 230 изображенъ общій видъ вертикальнаго парового насоса системы машиностроительнаго завода Гритцнера въ Дурлахѣ (Баденъ) съ одинаковымъ числомъ оборотовъ діаметромъ цилиндра, ходомъ поршня и количествомъ доставляемой воды, какъ и приведенные выше горизонтальные насосы этой фирмы. Для придананія насосамъ большей устойчивости главный валъ располагается внизу, какъ это имѣетъ мѣсто въ насосахъ и другихъ машиностроительныхъ заводовъ. Всасывающій и нагнетательный воздушные котлы расположены въ станинѣ насоса.



Фиг. 230.
Вертикальный паровой насосъ.



Фиг. 231.

Весьма компактны по своему устройству и изящны по наружному виду строящіеся на заводѣ Клейнъ, Шанцлинъ и Беккеръ во Франкенталѣ вертикальные двойнаго дѣйствія компоундъ-насосы съ двумя нырялами и однимъ пораспредѣлительнымъ золотникомъ. Расположеніе золотника сбоку, какъ показано на фиг. 231, значительно упрощаетъ все устройство и дѣлаетъ машину легко доступной кромѣ того эти насосы весьма прочны и сравнительно дешевы. Кривошипы расположены подъ угломъ 180° другъ къ другу, при чемъ оба паровыхъ поршня измѣняютъ направленіе своего хода одновременно, и вслѣдствіе этого является возможность устроить пораспредѣленіе отъ одного эксцентрика. Въ слѣдующей таблицѣ приведены главные размѣры насосовъ для высотъ напора до 80 метр. и для количествъ воды до 18 литр. въ секунду.

[1]) За исключеніемъ маленькихъ вертикальныхъ насосовъ, работающихъ безъ воздушныхъ котловъ.

№№ насосовъ.	Діаметры			Ходъ поршней въ миллим.	Число оборотовъ въ минуту.	Производительность въ минуту въ литрахъ.	Діаметры трубъ			Приблизительный вѣсъ въ килогр.
	Цилиндра высокаго давленія въ миллим.	Цилиндра низкаго давленія въ миллим.	Ныряла въ миллим.				Всасывающей въ миллим.	Нагнетательной въ миллим.	Паропроводной въ миллим.	
1	100	150	70	100	100	65	45	40	20	525
2	120	170	90	120	90	117	65	55	25	960
2a	130	200	100	120	90	145	75	65	25	1060
3	140	220	105	150	80	177	80	70	30	1285
4	150	230	120	180	80	277	90	80	30	1400
5	170	250	140	200	70	367	100	90	35	1851
6	200	300	170	200	60	459	125	100	40	2340
6a	240	380	195	200	60	683	150	125	45	3020
7	250	425	200	250	55	733	175	150	45	3870
8	300	425	250	250	50	1060	200	175	50	5000

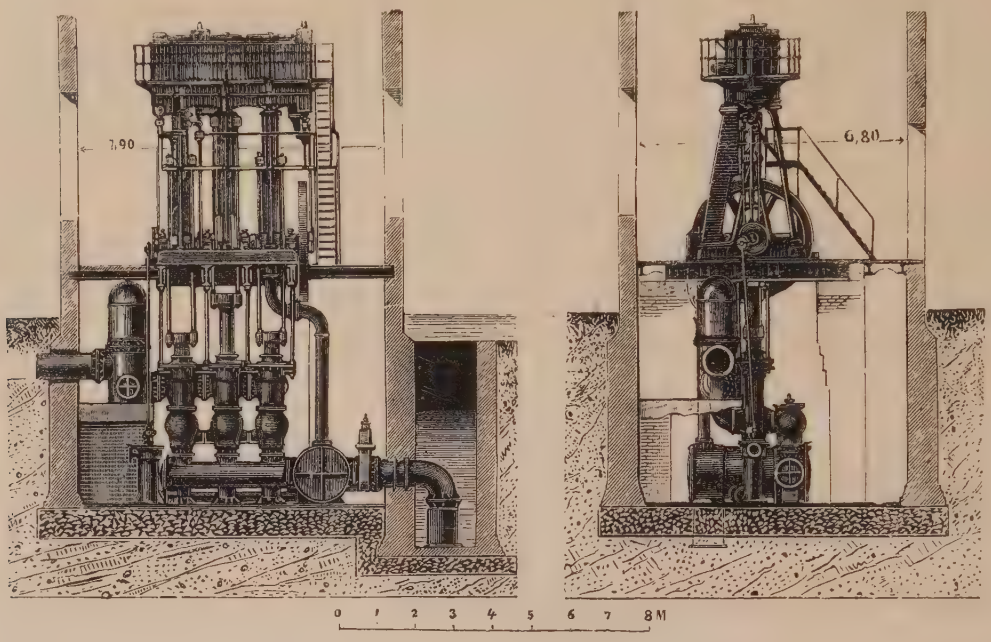
Для малыхъ и среднихъ сооруженій съ производительностью 0,7 до 33 литр. въ секунду могутъ быть рекомендованы также строящіеся заводомъ Вейзе и Монскій въ Галле свободно стоящіе сдвоенные компаундъ-насосы показанныхъ въ слѣдующей таблицѣ номеровъ и размѣровъ при высотахъ нагнетанія до 80 метр.

№ № насосовъ.	Діаметръ			Ходъ поршня	Производительность въ минуту	Діаметръ трубъ.				Приблизительный вѣсъ
	ныряла	цил. выс. давленія	цил. низк. давленія		литр.	Всасывающей	Нагнетательной	Паровпускной	Паровыпускной	килогр.
	м. м.	м. м.	м. м.	м. м.		м. м.	м. м.	м. м.	м. м.	
20	52	90	135	80	40	33	33	20	40	290
20a	60	90	135	80	50	33	33	20	40	370
20b	80	115	170	100	100	45	45	20	40	575
21	90	130	190	150	160	60	60	20	40	1040
21a	100	140	200	150	200	60	60	20	40	1150
22	110	150	220	180	240	80	80	26	45	1270
22a	130	150	220	180	350	80	80	26	45	2275
23	140	170	240	220	400	100	80	33	65	2325
24	150	195	275	240	500	120	100	33	65	2400
25	180	195	275	240	650	120	100	33	65	2425
25a	200	240	340	260	850	150	120	45	80	2875
25b	250	265	375	310	1200	180	150	45	80	3450
25c	250	300	424	310	1600	210	180	45	80	5175
25d	280	300	424	310	1850	230	200	45	80	6000
25f	320	300	424	310	2000	230	200	45	80	7000

Точно также и другіе машиностроительные заводы строятъ вертикальные насосы различныхъ размѣровъ, свѣдѣнія о которыхъ содержатся въ каталогахъ различныхъ заводовъ.

Для насосныхъ станцій большихъ размѣровъ вертикальные насосы находятъ себѣ обширное примѣненіе въ Англіи и Америкѣ. Машины тамъ въ подобныхъ случаяхъ конструируются съ тройнымъ расширеніемъ, при чемъ каждый паровой цилиндръ приводитъ въ движеніе одинъ насосъ (тройные насосы). На фиг. 232 изображена подобная водоподъемная машина системы завода Moreland a. Son въ Лондонѣ, строящаго такія машины различныхъ размѣровъ. Показанная здѣсь на чертежѣ машина подымаетъ въ 24 часа 5 милліоновъ галлоновъ (22718 кубич. метр.), т. е. 263 литра воды въ секунду на высоту 250 фут. (76,2 метр.) и можетъ быть удобно установлена въ помѣщеніи съ площадью пола 54 кв. метр. Устройство

чрезвычайно просто, и машина доступна для осмотра во всѣхъ своихъ частяхъ. Діаграммы этихъ насосовъ показываютъ, что въ теченіе каждаго оборота вала движеніе воды во всасы-



Фиг. 232. Вертикальный насосъ Мореландъ.

вающей и нагнетательной трубѣ практически можетъ считаться равномѣрнымъ. Машина уравновѣшена во всякомъ своемъ положеніи. Размѣры этихъ машинъ для высоты подъема въ

№№ насосовъ.	Діаметры цилиндровъ.			Длина общаго хода поршней миллим.	Діаметръ ныряла миллим.	Число оборотовъ въ минуту.	Производительность въ минуту литр.
	Высокаго давленія миллим.	Средняго давленія миллим	Низкаго давленія миллим.				
1	152	222	381	610	149	50	1577
2	171	267	457	610	181	50	2366
3	184	292	508	762	197	45	3155
4	229	356	610	762	241	45	4733
5	254	394	686	914	264	42	6310
6	279	445	762	914	295	42	7888
7	311	483	838	914	324	42	9466
8	349	596	940	1219	365	33	12621
9	394	610	1067	1219	406	33	15775
10	432	673	1168	1219	445	33	18931
11	470	749	1295	1524	508	27	25242
12	533	838	1448	1524	572	27	31552

76,2 метр. и количествъ воды отъ 25 до 527 литр. въ секунду показаны на приложенной таблицѣ (стр. 508).

Вслѣдствіе вертикальнаго расположенія насосовъ подъ паровыми цилиндрами во всѣхъ этихъ устройствахъ доступъ къ отдѣльнымъ частямъ насосовъ бываетъ затруднителенъ, что представляетъ собой значительное неудобство, преимущественно въ случаѣ крупной машины. Кромѣ того машины большей частью весьма дороги по начальной своей стоимости и требуютъ большихъ дорогихъ фундаментовъ. Но съ другой стороны эти насосы, какъ упомянуто было выше, имѣютъ то преимущество, что требуютъ для своей установки мало мѣста и могутъ быть расположены сообразно уровню всасыванія; кромѣ того они обладаютъ тѣмъ несомнѣннымъ преимуществомъ, что водяные поршни очень мало страдаютъ отъ мути или примѣси песку къ водѣ, и что даже въ очень тяжелыхъ машинахъ не происходитъ измѣненія формы (овальнаго изнашиванія) паровыхъ и водяныхъ цилиндровъ отъ вѣса поршней, такъ какъ направленіе движенія поршней параллельно направленію силы тяжести.

Насосы съ промежуточными органами для передачи силы. Въ тѣхъ случаяхъ, когда примѣненіе горизонтальныхъ или вертикальныхъ насосовъ съ непосредственной передачей силы оказывается почему либо неудобнымъ, между двигателемъ и насосомъ вводится промежуточный органъ, служащій для передачи силы послѣднему.

Въ подобныхъ случаяхъ примѣняются такъ называемыя балансирныя машины, т. е. машины съ качающимся рычагомъ (балансиромъ), помощью котораго можно преобразовать одно прямолинейное движеніе въ другое съ одинаковымъ или обратнымъ направленіемъ, съ увеличеннымъ или уменьшеннымъ ходомъ и т. д. Вращательное движеніе помощью шатуна преобразовывается въ качательное движеніе балансира.

Если въ паровыхъ насосахъ балансиры расположены горизонтально, то подобныя машины имѣютъ то большое преимущество, что насосъ (подобно вертикальному насосу съ непосредственной передачей) можетъ быть установленъ сообразно съ наиболѣе низкимъ уровнемъ всасыванія, и что направленія передаваемыхъ силъ приблизительно или совершенно точно совпадаютъ съ направленіемъ силы тяжести; наконецъ, въ этихъ насосахъ скорость парового поршня можетъ быть сдѣлана больше скорости водяного, чѣмъ достигается болѣе высокій полезный эффектъ. При хорошихъ устройствахъ насосовъ всѣ подвижныя части совершенно уравновѣшены на цапфахъ балансира, при чемъ работа вредныхъ сопротивленій бываетъ меньше, нежели въ горизонтальныхъ машинахъ, между тѣмъ какъ опасность отъ поломки трущихся частей машины въ нихъ совершенно устранена. Треніе въ сальникахъ и поршневыхъ кольцахъ по своей величинѣ совершенно независимо отъ вѣса движущихся частей; здѣсь при работѣ происходитъ почти исключительно одно только треніе цапфъ. Затѣмъ въ балансирныхъ машинахъ діаметры цилиндровъ и длины ходовъ поршней неограничены, и съ самимъ балансиромъ весьма удобно могутъ быть соединены питательные и воздушные насосы и проч. принадлежности паровой машины; кромѣ того помощью балансира можно весьма простымъ путемъ приводить въ движеніе отдѣльные насосы для грязной и фильтрованной воды и проч. Всѣ необходимыя въ машинахъ другихъ системъ для этой цѣли различныя отдѣльныя коромысла, штанги, кривошины и проч. здѣсь оказываются совершенно излишними.

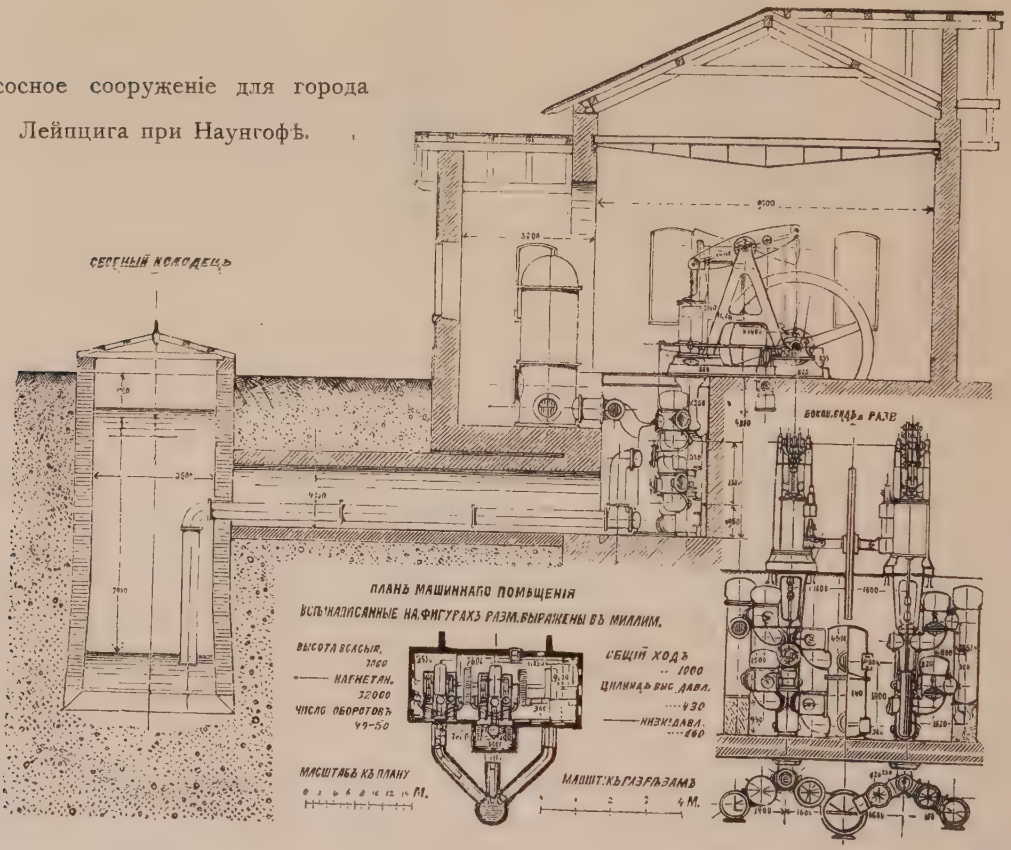
Съ другой стороны, эти машины не такъ легко доступны для осмотра, какъ горизонтальныя машины; опускающія и подымающія усилія, дѣйствующія въ подушкахъ маховика и коромысла, вызываютъ сильныя сотрясенія въ подшипникахъ, которые вслѣдствіе этого должны быть весьма солидно конструированы и тщательно установлены; наконецъ, начальная ихъ стоимость гораздо выше, нежели горизонтальныхъ машинъ.

На фиг. 233 изображена одна изъ новыхъ балансирныхъ машинъ, построенныхъ для водоснабженія города Лейпцига на зав. Тима. При выборѣ системы машины необходимо было принять въ соображеніе пониженіе уровня всасыванія на 7 метр., которое требовало опусканія насосовъ ниже пола машиннаго зданія, при чемъ свойства почвы требовали возможнаго уменьшенія размѣровъ машиннаго и котельнаго помѣщенія. Насосъ устроенъ системы компоундъ съ діаметромъ цилиндра высокаго давленія въ 430 миллим., а цилиндра низкаго давленія въ 660 миллим. при длинѣ общаго хода поршней въ 1000 миллим., при діаметрѣ плунжера (ныряла) въ 310 миллим. и числѣ оборотовъ въ минуту отъ 40 до 50. Паровые цилиндры снабжены клапанными пораспредѣленіями съ перемѣнной отъ руки отсѣчкой; давленіе впуска въ цилиндръ высокаго давленія составляетъ 6 атм. Котлы установлены съ кипятильниками

и топкой Тембрика поверхностью нагрѣва по 80 кв. метр. Насосные клапаны устроены системы Ридлера. Каждая насосная машина (или каждые 2 соединенныхъ насоса) можетъ доставлять въ 22,8 рабочихъ часовъ 15000 кубич. метровъ воды; увеличеніе числа оборотовъ повышаетъ производительность насосовъ. Въ общемъ устройство машины показано на фиг. 233.

Американскія балансирныя насосныя машины описаны Ридлеромъ, [1]) который между прочимъ приводитъ описаніе своеобразно устроенной водоподъемной машины-компоундъ тройного расширенія, занимающей средину между горизонтальной и вертикальной машиной и установленной для водоснабженія города Бостона (Сѣв. Ам. С. Шт.). Разрѣзъ этой машины показанъ на фиг. 234. Въ этомъ случаѣ, вслѣдствіе недостатка мѣста въ машинномъ помѣщеніи, насосъ устроенъ съ наклоннымъ цилиндромъ. Это дорогое устройство уменьшаетъ

Насосное сооруженіе для города Лейпцига при Наунгофѣ.

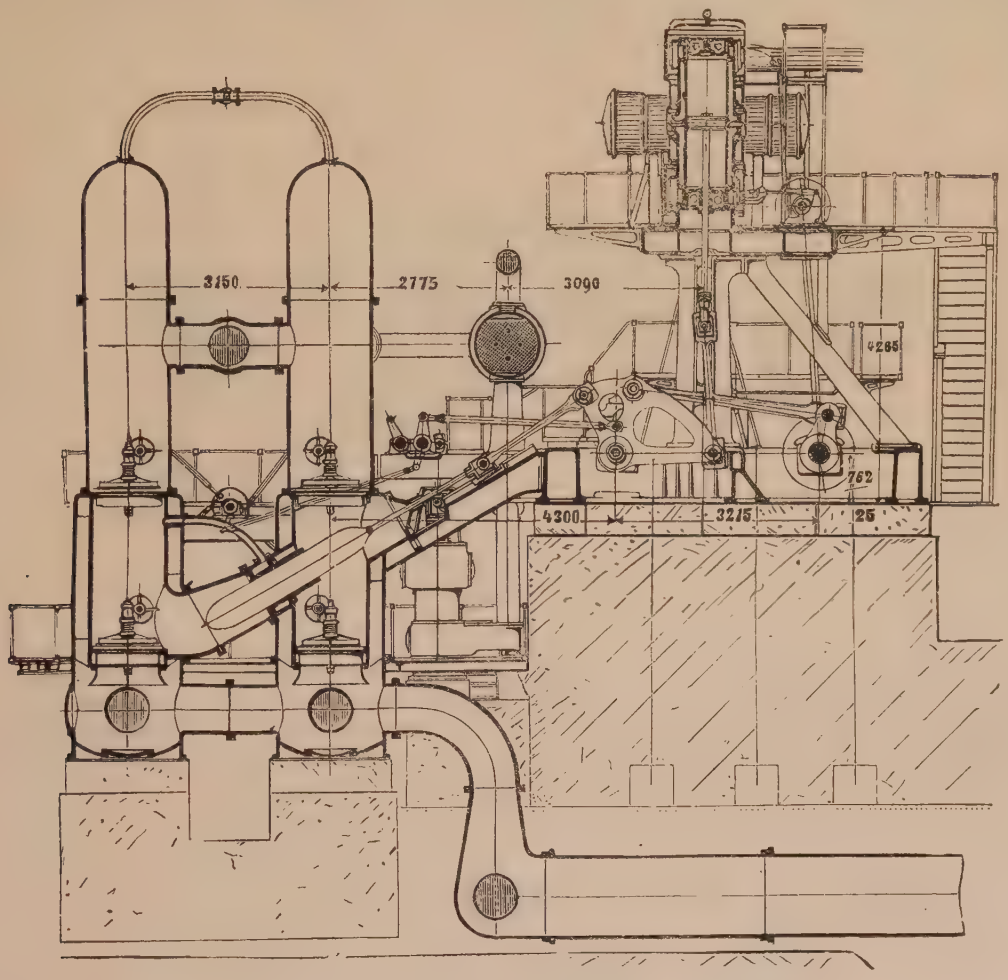


Фиг 233.

высоту всасыванія сравнительно съ высотой при горизонтальныхъ машинахъ, и отдѣльныя части машины болѣе доступны, нежели насосы, расположенные вертикально подъ паровыми цилиндрами; помощью балансира скорость насоснаго поршня (составляющая въ данномъ случаѣ при 50 оборотахъ 121,9 метр. въ минуту) можетъ быть уменьшена при сохраненіи наивыгоднѣйшей скорости парового поршня. Въ остальномъ, по нашему мнѣнію, описанное устройство не заслуживаетъ подражанія.

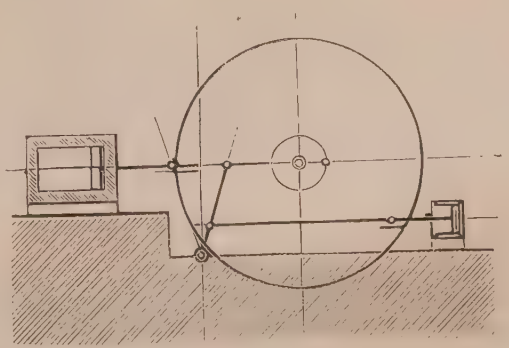
[1]) Zeitschrift. d. Ver. deutsch. Ingen. т. 37, стр. 606, 1893 г.

Если желательно скомбинировать горизонтальныя машины съ горизонтальными насосами такимъ образомъ, чтобы послѣдніе всасывали съ болѣе значительной глубины, то примѣняютъ



Фиг. 234. Насосное сооруженіе въ Бостонѣ (С. А.).

вертикальный балансиръ, какъ показано на фиг. 235. Машины подобной системы установлены напр. въ Парижскомъ водопроводѣ при Port-a-l'Anglais, и, по сообщенію Бельграндъ, [1]) расходуютъ 2,22 килогр. угля въ часъ на одну полезную лошад. силу (въ смыслѣ ур. 5), и всасываютъ воду изъ Сены на уровнѣ 26,5 метр. надъ уровнемъ моря и нагнетаютъ ее въ резервуаръ Gentilly (на 82,10 метр. надъ уровнемъ моря).

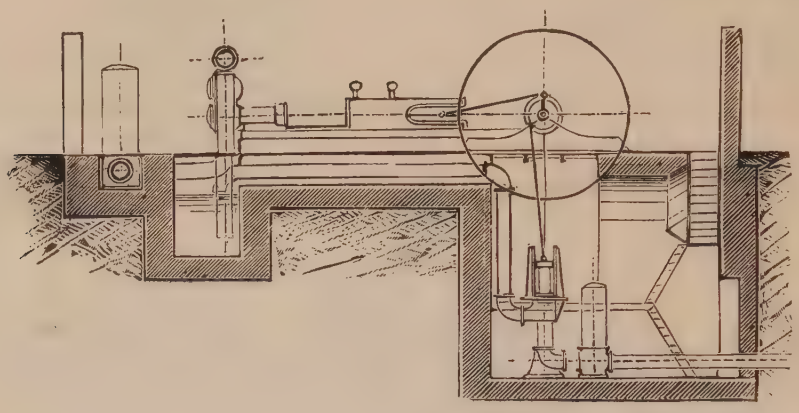


Фиг. 235. Насосъ при Port-á-i'Anglais (Парижъ)

Комбинація горизонтальныхъ и вертикальныхъ машинъ, какъ показано на фиг. 236, примѣняется въ тѣхъ случаяхъ, когда подымаемая вода сперва накачивается въ небольшой промежуточный резервуаръ, изъ котораго она уже выкачивается и дальше нагнетается помощью горизонтальнаго насоса съ непосредственной передачей силы. Въ этихъ

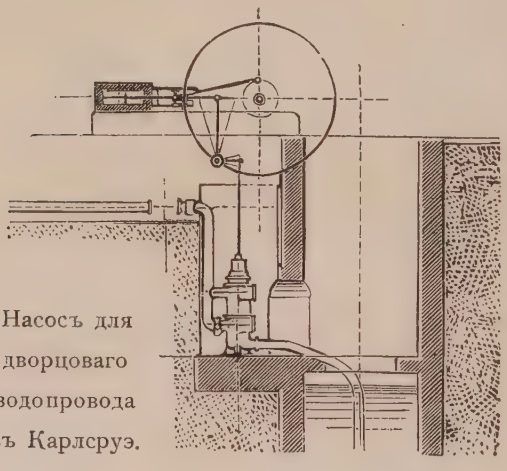
[1]) Belgrand, Les travaux souterrains de Paris.

случаяхъ вертикально расположенный насосъ носитъ названіе „подъемнаго“ насоса. Къ подобной системѣ прибѣгаютъ или a priori по вышеприведеннымъ соображеніямъ, или же впослѣдствіи, когда глубина всасыванія возросла до слишкомъ большой величины. Необходимо обратить вниманіе на то обстоятельство, чтобы уходъ за подъемными насосами былъ бы по возможности удобнѣе. Для этой цѣли при сдвоенныхъ машинахъ они лучше всего располагаются въ обширной



Фиг 236. Насосное сооруженіе съ подъемнымъ насосомъ.
Схематическій чертежъ.

шахтѣ рядомъ между машинами и приводятся въ движеніе кривошипами, насаженными на обоихъ противоположныхъ концахъ главнаго вала. Обыкновенно производительность подъемныхъ насосовъ выше производительности нагнетательныхъ насосовъ; во всякомъ случаѣ необходимо принять во вниманіе питательную воду для котла, а также и воду для конденсаціи, такъ какъ для обѣихъ этихъ цѣлей цѣлесообразно брать воду изъ промежуточнаго резервуара.



Насосъ для дворцоваго водопровода въ Карлсруэ.

Фиг. 237.

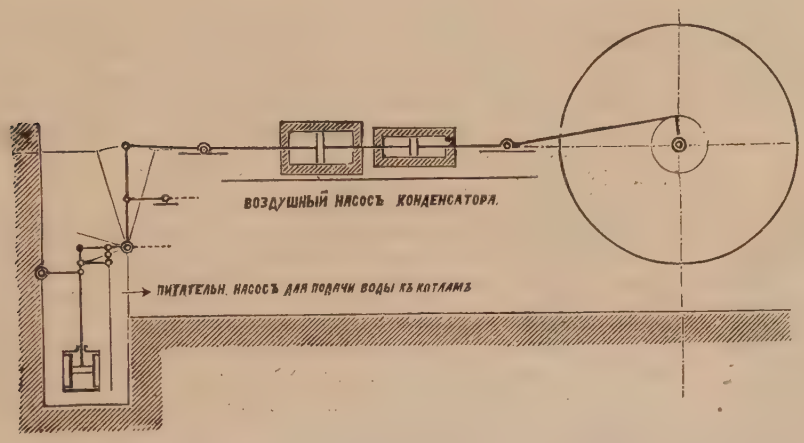
Само собой разумѣется, что подъемные насосы могутъ быть устроены для непосреднаго нагнетанія (безъ промежуточнаго резервуара), причемъ машина получаетъ видъ всасывающаго насоса, если она устроена такъ, какъ показано на фиг. 236.

Устройство, въ которомъ горизонтальное движеніе паровой машины преобразовывается въ вертикальное движеніе насоса помощью углового рычага, мы видимъ въ устроенномъ Герстнеромъ водоснабженіи въ Карлсруэ въ Баденѣ (фиг. 237). Здѣсь насосная шахта расположена рядомъ со всасывающимъ колодцемъ.

Менѣе удобнымъ оказалось устройство, примѣненное въ водоснабженіи города Ганновера и схематически изображенное на фиг. 238. Ходъ насоснаго поршня составляетъ здѣсь половину хода парового поршня, вслѣдствіе чего оказалось возможнымъ сообщить паровому поршню болѣе значительную скорость и сдѣлать его меньшаго діаметра. Относительно этого устройства Гранъ [1]) совершенно справедливо замѣчаетъ: „никто не можетъ убѣждать, что здѣсь достигнута большая устойчивость, нежели въ балансирныхъ машинахъ, и очень многіе легко увидятъ трудность прочнаго фундаментированія поворотной цапфы углового рычага“.

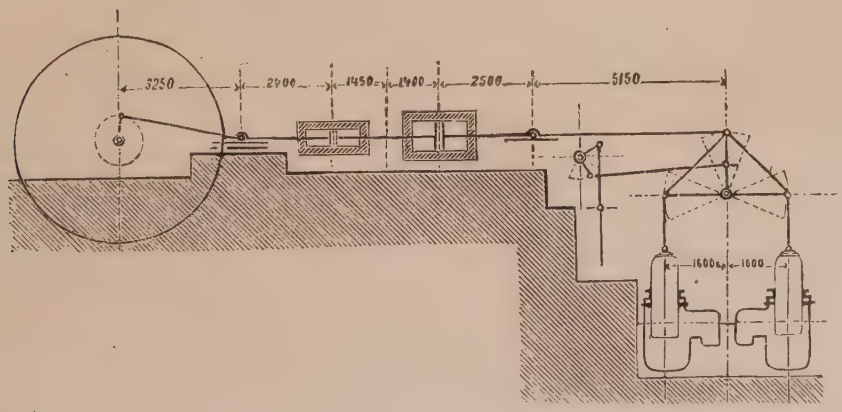
[1]) Journ. für Gasbel. u. Wasservers. т. 20, стр. 655, 1877 г.

Сравнительно часто встрѣчается преобразованіе горизонтальнаго движенія въ вертикальное помощью крестообразнаго рычага; это устройство, по нашему мнѣнію, должно считаться болѣе удачнымъ, нежели только что описанное. Новѣйшія установки этого рода встрѣчаются въ Берлинскомъ водопроводѣ на Тегельскомъ озерѣ, а подобную ей установку мы ви-



Фиг. 238. Схематическій чертежъ насоснаго сооруженія въ Ганноверѣ

димъ въ Бѣлградскомъ водопроводѣ [1]) и друг. На фиг. 239 схематически изображено устройство, примѣненное на Берлинскомъ водопроводѣ. Два паровыхъ поршня діам. 400 и 800 миллим. расположены другъ за другомъ на общемъ поршневомъ штокѣ, передающемъ движеніе желѣзному равноплечному крестообразному рычагу отъ котораго движеніе передается верти-



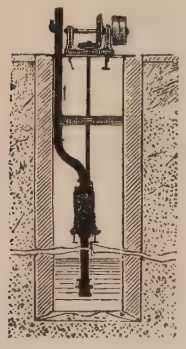
Фиг. 239. Водоподъемное устройство для города Берлина у Тегельскаго озера.

кальнымъ насосамъ съ плунжерами діам. 710 миллим. и ходомъ 1300 миллим. Насосы устроены простого дѣйствія и за одинъ двойной ходъ даютъ 1 кубич. метръ воды на среднюю высоту нагнетанія въ 5,2 метр., дѣлая около 14 двойныхъ ходовъ въ минуту. Само собой разумѣется, что подобныя машины занимаютъ много мѣста въ длину.

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. т. 37, стр. 577. 1893 г.

Кромѣ описанныхъ, встрѣчается еще громадное число различныхъ другихъ устройствъ, которыя имѣютъ главной своей цѣлью передачу движенія отъ вертикальныхъ или балансирныхъ машинъ глубже расположеннымъ насосамъ помощью различныхъ рычажныхъ передачъ, кривошиповъ и т. д.; тѣмъ не менѣе намъ до сихъ поръ неизвѣстна ни одна конструкція, которая вообще могла бы считаться дешевой, простой и вполнѣ замѣняющей собой балансирныя машины.

Когда скорость двигателя и скорость насоса значительно разнятся между собой, то передача движенія отъ двигателя къ насосу производится помощью зубчатыхъ колесъ, ременныхъ и канатныхъ приводовъ и проч. Въ то время какъ при дѣйствіи паромъ эти способы передачи примѣняются въ исключительныхъ только случаяхъ (напр. при испытаніи насосовъ и проч.), они неизбѣжны при примѣненіи гидравлическихъ двигателей и электромоторовъ. Примѣры передачи силы отъ водяныхъ двигателей приведены нами выше.



Фиг. 240.

При пробныхъ откачкахъ высота подъема обыкновенно бываетъ незначительна, и поэтому для такихъ испытаній обыкновенно употребляются вращающіеся насосы. Если уровень всасыванія расположенъ болѣе или менѣе глубоко, то насосъ располагается въ шахтѣ, и въ этомъ случаѣ все устройство принимаетъ видъ, показанный на фиг. 240. Если уровень всасыванія расположенъ болѣе высоко, то для пробной откачки обыкновенно примѣняются центробѣжные насосы. Поршневые насосы вообще употребляются весьма рѣдко.

Газовые, а также и керосиновые двигатели обыкновенно дѣлаютъ отъ 140 до 200 оборотовъ въ минуту. Если желаютъ приводить въ движеніе этими двигателями насосы безъ промежуточной передачи, то выборъ насоса производится между вращающимися насосами при небольшой высотѣ нагнетанія, или между извѣстнымъ числомъ небольшихъ быстроходныхъ поршневыхъ насосовъ для подъема небольшихъ количествъ воды на значительныя высоты. Обыкновенно же внѣшнія обстоятельства не допускаютъ примѣненія того или другого способа; тогда оказывается неизбѣжнымъ устройство передачи.

Заводъ газовыхъ двигателей въ Кельнъ-Дейцѣ устроилъ въ большомъ числѣ Германскихъ городовъ водоподъемныя машины съ газовыми двигателями, и въ прежнее время устраивалъ передачу между двигателемъ и насосомъ помощью зубчатыхъ колесъ (какъ напр. въ водоснабженіяхъ городовъ Дюрена, Кобленца, Карлсруэ и др.). Но такъ какъ не тщательно выполненныя зубчатыя передачи постоянно вызываютъ сильный шумъ, увеличивающійся при изнашиваніи зубчатыхъ колесъ, то въ послѣднее время заводъ перешелъ преимущественно къ ременнымъ и канатнымъ передачамъ. Послѣдніе способы передачи, для полученія цѣлесообразныхъ передаточныхъ чиселъ и равномѣрнаго натяженія ремня или каната, какъ извѣстно, допускаются только при томъ условіи, когда примѣняются насосы съ относительно большимъ числомъ оборотовъ и равномѣрнымъ вращающимъ усиліемъ. Поэтому въ настоящее время при всѣхъ большихъ водоподъемныхъ машинахъ съ газовыми двигателями заводъ примѣняетъ тройные насосы, въ которыхъ три плунжерныхъ насоса простого дѣйствія приводятся въ движеніе 3-мя кривошипами (или колѣнами вала), расположенными подъ угломъ 120° другъ къ другу. При правильномъ цѣлесообразномъ устройствѣ клапановъ и правильно сообразованныхъ всасывающемъ и нагнетательномъ воздушныхъ котлахъ помощью описаннаго устройства можно получить совершенно тихій и плавный ходъ даже при значительномъ числѣ размаховъ насоса (75 даже до 100 въ минуту).

Одну изъ новѣйшихъ наиболѣе крупныхъ водоподъемныхъ машинъ съ газовымъ двигателемъ представляетъ собой построенная упомянутымъ заводомъ насосная станція для водоснабженія города Мейсена. Городъ снабжается грунтовой водой, добываемой возлѣ Эльбы въ непосредственной близости къ парку Зибенейхенъ. Согласно требованіямъ владѣльца парка строителю было поставлено условіе, чтобы эта живописная мѣстность не была обезображена дымовой трубой, чтобы не происходило выдѣленія дыма или сажи, чтобы не было шума отъ выпускаемаго пара или газа, а также и отъ зубчатыхъ колесъ, при чемъ мѣстность для постановки насосной станціи была ограничена до минимума. Эти условія могли быть вы-

Простого дѣйствія 3-хъ цилиндровый насосъ, проводимый въ движеніе газовомъ двигателемъ посредствомъ канатовъ.

Дѣйствит. наибольшая производительность одного двигателя:

60 лош. силъ при 150 оборот.

Діам. ныряла 160 мм.

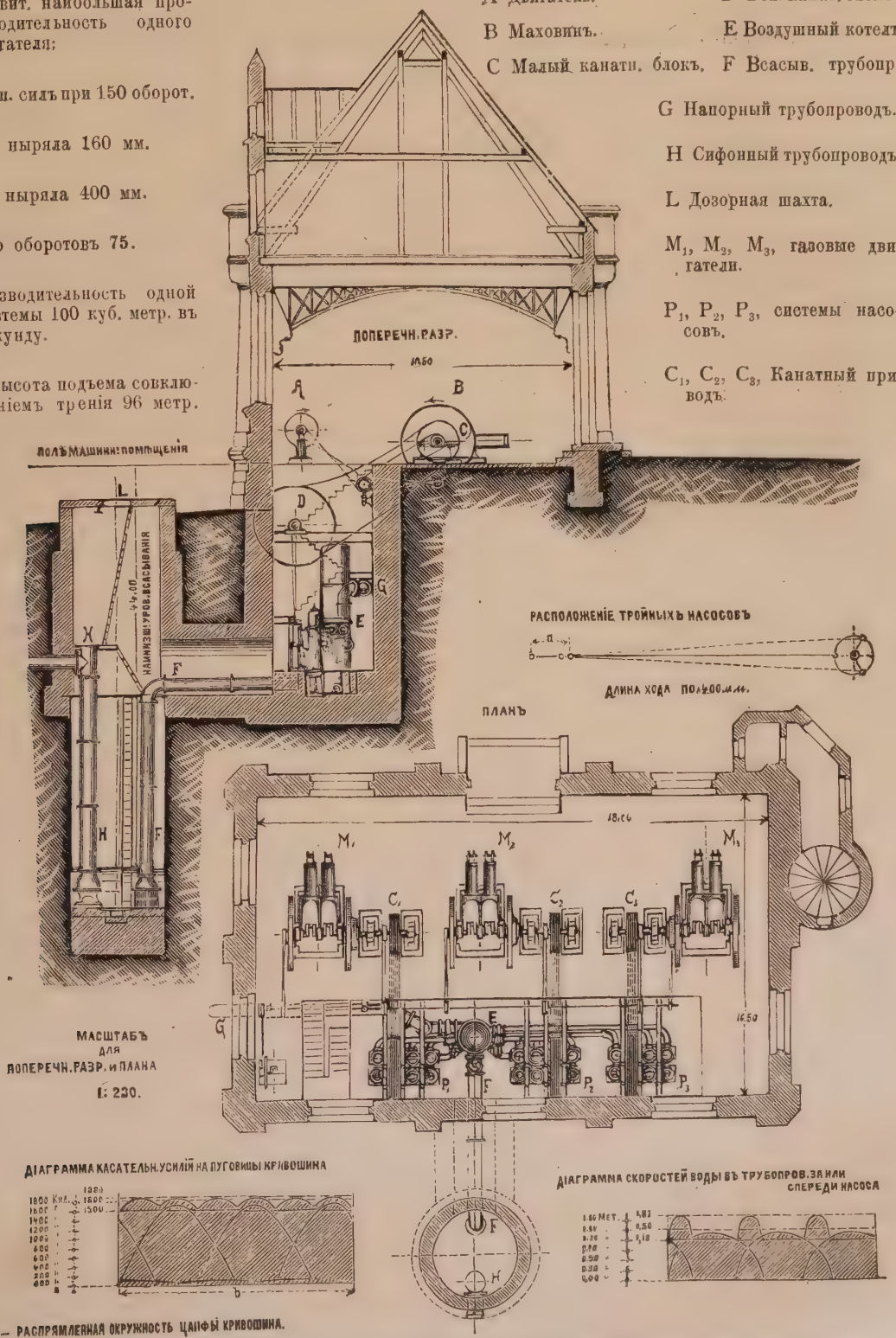
Ходъ ныряла 400 мм.

Число оборотовъ 75.

Производительность одной системы 100 куб. метр. въ секунду.

Вся высота подъема совключеніемъ тренія 96 метр.

A Двигатель.
B Маховикъ.
C Малый канатн. блокъ.
D Бол. канат. блокъ
E Воздушный котелъ
F Всасыв. трубопр.
G Напорный трубопроводъ.
H Сифонный трубопроводъ.
L Дозорная шахта.
M_1, M_2, M_3, газовые двигатели.
P_1, P_2, P_3, системы насосовъ.
C_1, C_2, C_3, Канатный приводъ.


ПОПЕРЕЧН. РАЗР.
ПОЛЪ МАШИННАГО ПОМѢЩЕНІЯ
РАСПОЛОЖЕНІЕ ТРОЙНЫХЪ НАСОСОВЪ
ДЛИНА ХОДА ПОЛ. 800 мм.
ПЛАНЪ
МАСШТАБЪ ДЛЯ ПОПЕРЕЧН. РАЗР. и ПЛАНА
1: 230.
ДІАГРАММА КАСАТЕЛЬН. УСИЛІЙ НА ПУГОВИЦЫ КРИВОШИПА
ДІАГРАММА СКОРОСТЕЙ ВОДЫ ВЪ ТРУБОПРОВ. ЗА ИЛИ СПЕРЕДИ НАСОСА
b— РАСПРЯМЛЕННАЯ ОКРУЖНОСТЬ ЦАПФЫ КРИВОШИПА.

Фиг. 241. Насосъ, приводимый въ движеніе газовыми двигателями, для водопровода изъ города Мейенсъ.

Водоснабженіе городовъ.	Годъ сооруженія.	Число двигателей и число дѣйствительныхъ лош силъ.	Число оборотовъ двигателя въ минуту.	Діаметръ насоса въ миллим.	Ходъ поршня насоса въ миллим.	Число оборотовъ насоса въ минуту.	Подымаемое колич.
Кведлинбургъ	1885	2 по 16 л. с. одноц.	140	220	600	28	1
Дюренъ.	1885	2 „ 40 „ „ двойн.	140	260	760	30	2
Кобленцъ.	1886	3 „ 40 „ „ „	140	260	800	25	2
Роттвейль	1886	1 „ 20 „ „ одноц.	140	1 вер. 168 1 вер. 160	500	14	
Фюртъ.	1887	2 „ 40 „ „ двойн.	140	260	760	30	2
Пейне	1887	1 „ 12 „ „ одноц.	150	180	500	50	1
Карлсруэ	1888	2 „ 50 „ „ двойн.	140	335	800	28	3
Мюнстеръ	1888	1 „ 30 „ „ одноц.	140	250	700	30	1
„	1890	1 „ 30 „ „ „	140	250	700	30	1
Эйнбекъ	1889	2 „ 10 „ „ „	160	205	425	36	
Бамбергъ	1889	1 „ 40 „ „ двойн.	140	185	600	58	1
Кеттвигъ.	1890	1 „ 16 „ „ одноц.	140	210	600	24	
„	1890	1 „ 8 „ „ „	160	170	400	28	
Оберланштейнъ	1890	1 „ 10 „ „ „	140	170	500	25	
Бингенъ	1891	2 „ 12 „ „ „	140	170	500	26	
Геттингенъ	1892	1 „ 10 „ „ „	180	100	300	75	
Мейсенъ	1893	2 „ 50 „ „ двойн.	150	160	400	75	1
Гогенштейнъ	1893	1 „ 6 „ „ керосин.	200	125	300	75	
Канштадтъ.	1893	1 „ 30 „ „ одноц.	140	205	600	24	1
Рейтлингенъ	1893	1 „ 25 „ „ „	150	190	600	30	1
Нюртингенъ.	1893	1 „ 8 „ „ „	180	150	400	60	
Нирштейнъ	1893	1 „ 4 „ „ керосин.	210	150	180	44	
Оберкассель	1893	1 „ 6 „ „ „	200	150	180	50	
Ротенбургъ	1893	2 „ 8 „ „ бензин.	180	110	300	70	
Констанцъ	1893	1 „ 16 „ „ одноц.	160	220	300	75	2
Геттингенъ (II сист.)	1893	1 „ 12 „ „ „	180	140	300	75	
Трейенъ	1893	2 „ 10 „ „ „	180	115	300	75	
Фелькингенъ на Саарѣ	1893	2 „ 8 „ „ „	180	125	300	75	
Вольфенбюттель	1893	2 „ 16 „ „ „	170	180	300	75	1
Этвеге	1893	1 „ 6 „ „ „	200	110	300	70	

Конструкція насосовъ.

Горизонт. поршневой насосъ двойн. дѣйствія.

Горизонт. плунжерный насосъ двойн. дѣйствія.

По 1 верт. сдвоенному плунжерн. насосу простого дѣйствія.

Горизонт. поршневой насосъ двойн. дѣйствія.

По 1 верт. сдвоенному плунжерному насосу прост. дѣйствія.

Горизонт. плунжерный насосъ двойн. дѣйствія.

Тоже.

Верт. сдвоенный плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

Тоже.

Горизонт. плунжерный насосъ двойн. дѣйствія.

Горизонт. плунжерный насосъ двойн. дѣйствія съ распред. клапанами.

Горизонт. поршневой насосъ двойн. дѣйствія.

Тоже.

Верт. сдвоенный плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

По 1 верт. сдвоенн. плунжерн. насосу прост. дѣйствія.

По 1 верт. тройному плунжерн. „ „ „

Тоже.

Гориз. сдвоенный плунжерный насосъ прост. дѣйствія

Гориз. „ „ „ двойн. „

Гориз. „ поршневой „ „ „

Горизонт. поршневой насосъ двойн. дѣйствія.

Верт. сдвоенный плунжерный насосъ простр. дѣйствія.

Верт. тройной „ „ „ „

По 1 гориз. сдвоенному плунжерному насосу прост. дѣйствія.

Вертик. тройной плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

Горизонт. тройной плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

Горизонт. сдвоенный плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

Горизонт. „ „ „ „ „

Вертик. тройной плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

Горизонт. сдвоенный плунжерный насосъ прост. дѣйствія.

полнены только устройствомъ, показаннымъ на фиг. 241. Насосная станція состоитъ изъ трехъ машинъ M_1, M_2 и M_3 и трехъ системъ насосовъ P_1, P_2 и P_3, разсчитанныхъ на производительность по 30 литр. въ секунду при высотѣ подъема въ 96 метр. Пока установлены только 2 системы насосовъ съ общей производительностью въ 60 литр. въ секунду; изъ этихъ системъ въ настоящее время оказывается достаточно одной, а вторая служитъ запасной. Такъ какъ газовые двигатели должны быть расположены выше полой воды, то полъ машиннаго помѣщенія пришлось расположить на 14 метровъ выше наиболѣе низкаго уровня всасыванія и вслѣдствіе этого примѣнить вертикальные насосы. Каждая насосная система приводится въ движеніе 50-сильнымъ газовымъ двигателемъ (сдвоеннымъ двигателемъ, въ которомъ главному валу сообщается движущая сила при каждомъ его оборотѣ, и который устроенъ съ клапаннымъ распредѣленіемъ и фарфоровымъ зажигателемъ). Для передачи силы отъ каждаго двигателя къ насосной системѣ служатъ 5 хлопчато-бумажныхъ канатовъ діам. по 45 миллим., идущихъ отъ канатнаго блока на удлиненіи главнаго вала двигателя къ канатному блоку на главномъ валу насоса. Эта непосредственная передача оказалась возможной вслѣдствіе устройства трехъ насосовъ простого дѣйствія, плунжеры которыхъ приводятся въ движеніе тремя кривошипами, расположенными другъ къ другу подъ 120°. Двигатели дѣлаютъ 150 оборотовъ въ минуту, а насосы 75. Удлиненія главныхъ валовъ двигателей соединены съ фрикціонной разъединяющеюся отъ руки муфтой, которая при пусканіи въ ходъ двигателя разъединяется. Насосы имѣютъ общій всасывающій главный воздушный котелъ и главный желѣзный нагнетательный воздушный котелъ E. Отъ сборнаго колодца общая всасывающая труба F діам. 400 миллим. съ нижнимъ всасывающимъ клапаномъ направляется къ главному всасывающему воздушному котлу. Напорный трубопроводъ, ведущій къ напорному резервуару (изъ двухъ камеръ), имѣетъ діаметръ 350 миллим. Сборный колодецъ питается расположеннымъ снаружи колодцемъ помощью развѣтвляющейся сифонной трубы H, для разрѣженія воздуха въ которой, а также и для одновременнаго доставленія воздуха въ главный нагнетательный воздушный котелъ, служитъ воздушный насосъ, приводимый въ движеніе отдѣльнымъ 2-хъ сильнымъ вертикальнымъ двигателемъ. Съ пола машиннаго помѣщенія по желѣзной лѣстницѣ спускаются въ насосную шахту. На уровнѣ подшипника главнаго вала насоса отъ лѣстницы отвѣтвляется площадка, по которой получается доступъ къ главному валу насоса, къ воздушному насосу и передаточному валу, расположенному на прикрѣпленныхъ къ стѣнѣ шахты кронштейнахъ. Помощью быстроходнаго газоваго двигателя приводится въ дѣйствіе воздушный насосъ, которымъ заполняется сифонъ; затѣмъ при разъединенной фрикціонной сцѣпной муфтѣ пускается въ ходъ большой двигатель, и наконецъ постепеннымъ сцѣпленіемъ муфты пускается въ ходъ насосъ. Послѣ пусканія въ ходъ одного изъ большихъ двигателей маленькій газомоторъ для воздушнаго насоса можетъ быть остановленъ, и послѣдній можетъ быть приведенъ въ дѣйствіе отъ большого двигателя. Совершенное устраненіе шума отъ выходящаго газа достигнуто употребленіемъ трехъ выпускныхъ камеръ или горшковъ. По произведеннымъ наблюденіямъ 1 куб. метромъ свѣтильнаго газа Мейсенскаго газопровода можно произвести полезную работу (ср. ур 5) въ 340000 килограмометр.

На таблицѣ (стр. 516—517) приведены свѣдѣнія о водоподъемныхъ машинахъ, приводимыхъ въ движеніе газовыми или керосиновыми двигателями и построенныхъ заводомъ Дейтцъ для водопроводныхъ насосныхъ станцій въ Германіи.

Насосныя станціи городскихъ водопроводовъ, приводимыя въ движеніе электричествомъ до настоящаго времени встрѣчаются довольно рѣдко.

Вообще считаемъ необходимымъ здѣсь еще разъ замѣтить, что невозможно установить общій типъ водоподъемной машины для всѣхъ встрѣчаемыхъ въ практикѣ условій. Правильность дѣйствія насоса,—при которой не слѣдуетъ упускать изъ виду, кромѣ достаточной прочности, тщательности изготовленія и возможности увеличенія производительности, еще и послѣдствія ненормальнаго пониженія уровня всасыванія,—удобство ухода и выгодное использованіе двигательной силы (небольшой расходъ пара) представляютъ собой рѣшающіе факторы при выборѣ конструкціи насоса; если вмѣстѣ съ тѣмъ можетъ быть достигнута и небольшая начальная стоимость устройства, то задача можетъ считаться вполнѣ удовлетворительно рѣшенной. Наконецъ, необходимо имѣть въ виду, что въ большинствѣ

случаевъ, преимущественно при колеблющихся и большихъ высотахъ подъема (какъ, напр., въ случаѣ нагнетанія непосредственно въ сѣть трубопровода), быстроходные насосы заслуживаютъ предпочтенія предъ тихоходными, даже если стоимость всего сооруженія выйдетъ нѣсколько больше, хотя большей частью это бываетъ обратно.

Время дѣйствія насосовъ, согласованіе водоподъемныхъ машинъ съ колебаніями расхода и число требуемыхъ машинъ. При одной только водоподъемной машинѣ безпрерывное дѣйствіе оказывается невозможнымъ. Обыкновенно въ теченіе 24 часовъ суточной работы (въ исключительныхъ случаяхъ только послѣ болѣе продолжительныхъ періодовъ работы [1]) всякая машина, какого бы рода она ни была, должна быть остановлена въ теченіе извѣстнаго времени t для тщательнаго ея осмотра, чистки, смазки и вообще для содержанія ея въ исправности; сюда не входитъ время перерыва въ работѣ отъ всевозможныхъ случайностей. Если же ставится непремѣннымъ условіемъ непрерывное доставленіе извѣстнаго количества воды, какъ это напр. имѣетъ мѣсто въ водопроводахъ съ верхними напорными баками, то необходимымъ условіемъ является постановка по меньшей мѣрѣ двухъ насосовъ, изъ которыхъ каждый самъ по себѣ отдѣльно можетъ доставлять требуемое количество воды, такъ чтобы оба насоса могли бы замѣнять другъ друга.

При нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можно отказаться отъ непрерывнаго доставленія воды, какъ это обыкновенно имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда для водоснабженія имѣется въ распоряженіи напорный бакъ достаточной вмѣстимости. Въ подобномъ случаѣ вода доставляется машинами только въ теченіе 24—t часовъ, а въ періоды бездѣйствія насосовъ водоснабженіе производится изъ напорнаго бака.

Величина t тогда зависитъ отъ емкости упомянутаго резервуара, и обратно Обусловливаемый этой зависимостью планъ водяного хозяйства будетъ разсмотрѣнъ нами ниже въ гл. 16. Обыкновенно a priori принимается извѣстная величина t, по которой уже опредѣляется планъ водяного хозяйства.

Въ большей части случаевъ величина t принимается по меньшей мѣрѣ = 2 часамъ, такъ что періодъ работы въ теченіе сутокъ составляетъ 22 часа, и подобная работа называется непрерывной (хотя это не совсѣмъ точно), такъ какъ состоящій при машинѣ персоналъ долженъ находиться въ работѣ день и ночь, т. е. работать на 2 смѣны. Если допускаютъ величину t=10 до 12 час., то работа въ теченіе остальныхъ 12—14 часовъ можетъ быть произведена безъ смѣны персонала, и работа въ этомъ случаѣ называется односмѣнной или дневной работой. Такимъ образомъ при выборѣ насоса прежде всего необходимо рѣшить вопросъ о продолжительности рабочаго періода. Рѣшеніе этого вопроса въ большинствѣ случаевъ представляетъ собой результатъ сравнительнаго исчисленія стоимости, при чемъ не малую роль играетъ родъ двигательной силы.

Если насосы приводятся въ движеніе сжатымъ воздухомъ, газомъ, электричествомъ и проч., и двигательная сила во всякое время доставляется за извѣст-

[1]) Такія исключенія встрѣчаются рѣдко, но сравнительно чаще всего при водостолбовыхъ машинахъ. Построенная напр. для водоснабженія Неугазена водостолбовая машина Раутенбаха работаетъ безпрерывно безъ смазки и осмотра около 14 дней.

ную плату съ каждой опредѣленной единицы, то стоимость единицы работы, помимо стоимости состоящаго при машинѣ персонала, независима отъ рабочаго періода. При одинаковыхъ условіяхъ, т. е. при неограниченномъ количествѣ рабочей воды, это справедливо также и для водяной силы Если же, наоборотъ, въ послѣднемъ случаѣ количество воды не удовлетворяетъ потребности, то короткій рабочій періодъ обусловливаетъ собой постановку компенсаціоннаго резервуара для устраненія безполезнаго стеканія воды. При примѣненіи паровой силы необходимо имѣть въ виду, что при одинаковыхъ условіяхъ 22-хъ часовая работа на каждую единицу производительности будетъ дешевле въ сравненіи съ 12 или 14 часовой потому, что въ послѣднемъ случаѣ требуется извѣстный расходъ топлива для ежедневной растопки котла или для поддерживанія огня подъ котлами, котораго въ первомъ случаѣ не требуется. Впрочемъ это обстоятельство не можетъ быть принято безусловно. Такъ какъ при короткихъ рабочихъ періодахъ употребляются крупныя машины, расходующія меньше топлива на каждую единицу работы, то расходъ топлива, требуемый для ежедневной растопки котла или для поддержанія огня въ топкѣ, вполнѣ можетъ окупиться сбереженіемъ его отъ примѣненія крупныхъ машинъ.

При короткихъ рабочихъ періодахъ необходимо устанавливать болѣе крупныя въ отношеніи 22:12 или 22:14 машины, котлы и проч., такъ какъ въ каждую единицу времени необходимо подымать количества воды, находящіяся въ указанныхъ отношеніяхъ; точно также при этомъ требуется и болѣе крупный напорный резервуаръ (см. гл. 16). Кромѣ того всасывающіе и напорные трубопроводы получаются большихъ діаметровъ а также и получаются большіе размѣры машиннаго и котельнаго помѣщеній. Относительно размѣровъ водоподъемныхъ машинъ, напорнаго резервуара, всасывающихъ и напорныхъ трубопроводовъ и машиннаго помѣщенія послѣднее обстоятельство остается справедливымъ и при примѣненіи другихъ двигательныхъ силъ, помимо пара.

Если производительность водоподъемнаго сооруженія равномѣрна (неизмѣнна) въ теченіе всего года, то, принимая во вниманіе изложенныя зависимости и соотношенія, не трудно найти то расположеніе, которому при одинаковой правильности дѣйствія соотвѣтствуетъ наименьшая стоимость, имѣющая первостепенное значеніе.

Въ большей части водоснабженій обстоятельства складываются такъ, что производительность мѣняется въ теченіе различныхъ періодовъ года (періодическія измѣненія), и что годичная работа въ общемъ постепенно увеличивается (увеличеніе общей годичной работы), какъ мы это подробно видѣли въ гл. 11.

Для удовлетворенія этимъ требованіямъ существуютъ два способа:
1. Увеличеніе ежедневнаго рабочаго періода.
2. Увеличеніе размѣровъ машинъ.

Послѣднее средство можетъ быть примѣнено постоянно, а первое возможно лишь тогда, когда рабочій періодъ a priori не принятъ въ 22 часа ежедневно.

Такимъ образомъ, принимая дневную и ночную работу и разсчитывая водоснабженіе на m лѣтъ, необходимо придать машинамъ такіе размѣры, которые соотвѣтствуютъ дневному максимуму, имѣющему наступить въ m-ый годъ существованія.

водоснабженія. Но отсюда еще не вытекаетъ, что все машинное устройство уже въ первый годъ работы должно имѣть такіе размѣры, которые соотвѣтствуютъ производительности A_m въ m-ый годъ существованія. Если предусмотрѣнныя годовыя производительности отъ 1-го до m-го года будутъ A_1, A_{21}, A_3, A_m, то все машинное устройство разсчитываютъ такъ, чтобы увеличеніе его производительности происходило постепенно; такъ напр., въ первый годъ производительность должна соотвѣтствовать требованіямъ 5-го года, въ 5-й годъ она должна соотвѣтствовать требованіямъ 10-го года, и т. д. Постоянной, т. е. неизмѣнной въ теченіе m лѣтъ, должна оставаться только та часть сооруженія, измѣненія которой съ теченіемъ времени могутъ вызвать нарушенія дѣйствія водопровода или же начальное устройство которой не вызываетъ никакихъ замѣтныхъ добавочныхъ расходовъ, будучи разсчитана по потребности, имѣющей наступить черезъ *m* лѣтъ. Въ этомъ отношеніи преимущественно необходимо имѣть въ виду стоимость земельнаго участка, машиннаго и котельнаго помѣщеній, жилыхъ помѣщеній для служащихъ и рабочихъ, угольныхъ складовъ и путей для подвозки угля, а при водяной силѣ—стоимость приводнаго канала, плотины и проч. При большихъ водоснабженіяхъ обыкновенно вводятся дневныя и ночныя работы преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда устройство напорнаго резервуара значительной емкости сопряжено съ несоразмѣрно большими расходами, какъ напр. на низменныхъ равнинхъ, гдѣ резервуары для своей постройки требуютъ солидныхъ нижнихъ строеній.

Если не вводятся дневныя и ночныя работы, а предварительно уже принимается короткій рабочій періодъ, то періодическія измѣненія работы, а также и ежегодныя увеличенія работы, въ извѣстныхъ предѣлахъ достигаются не только расширеніемъ машиннаго устройства, но также и увеличеніемъ рабочихъ періодовъ безъ расширенія машиннаго устройства. Если существующее машинное устройство обладаетъ ежечасной производительностью A_s, и если допускаемое ежедневное наибольшее число рабочихъ часовъ = 14, то въ послѣднемъ случаѣ, при сохраненіи предыдущихъ обозначеній, должно быть: 14. $A_s = A_m$. Тогда число рабочихъ часовъ въ теченіе перваго года опредѣляется изъ уравненія: $n_1.A_s = A_1$, для 2-го года $n_2.A_s = A_2$ и т. д.

Если оказывается возможнымъ въ теченіе года увеличить ежедневный рабочій періодъ до 22 часовъ, т. е. перейти отъ односмѣнной работы къ работѣ двухсмѣнной, то еще легче будетъ удовлетворить постепенно возрастающимъ потребностямъ въ смыслѣ производительности сооруженія безъ расширенія машиннаго устройства.

При водоснабженіяхъ, въ которыхъ можно ожидать небольшого увеличенія общей годовой работы (какъ напр. въ небольшихъ городахъ со слабымъ приростомъ населенія), наименьшая стоимость получается при удовлетвореніи періодическимъ измѣненіямъ работы и могущимъ затѣмъ возрости потребностямъ путемъ постепеннаго увеличенія рабочаго періода насосовъ.

Выше мы указали, что требованіе безпрерывнаго дѣйствія водоснабженія обусловливаетъ собой необходимость въ двухъ отдѣльныхъ машинахъ, изъ которыхъ каждая сама по себѣ должна удовлетворять наибольшей потребности. Само собой разумѣется, что этому условію могутъ удовлетворять и 3 машины, изъ коихъ 2 вмѣстѣ удовлетворяютъ наибольшей потребности, а третья находится въ ремонтѣ; точно также сооруженіе можетъ заключать въ себѣ 4 машины, изъ

коихъ 3 вмѣстѣ даютъ требуемую производительность, а 4-я находится въ ремонтѣ, и т. д.

Вообще постоянная производительность лучше всего (т. е. съ наименьшими начальными расходами и наименьшей стоимостью эксплоатаціи (достигается одной только машиной; при примѣненіи же вмѣсто одной нѣсколькихъ машинъ возростаетъ не только сумма неизбѣжныхъ потерь, но, ввиду большаго числа отдѣльныхъ частей и связаннаго съ этимъ дорогого обслуживанія и проч., увеличивается также и начальная стоимость, и стоимость ухода. Если, наоборотъ, производительность измѣняется, то при одной машинѣ это измѣненіе можетъ быть произведено только увеличеніемъ или уменьшеніемъ скорости машины. Но такъ какъ всякая машина при нормальной скорости даетъ наибольшее полезное дѣйствіе, то съ увеличеніемъ или уменьшеніемъ скорости (допускаемыми только въ опредѣленныхъ предѣлахъ) связана болѣе или менѣе значительная потеря полезнаго дѣйствія. Въ подобныхъ случаяхъ можетъ оказаться раціональнѣе въ экономическомъ отношеніи примѣненіе двухъ и болѣе машинъ, независимо отъ болѣе высокой начальной стоимости. Это преимущественно оказывается выгоднымъ тогда, когда производительность машины должна идти параллельно дневному расходу, т. е. когда не имѣется напорнаго резервуара для уравненія колебаній расхода по меньшей мѣрѣ за 24 часа.

Впрочемъ, величина водоподъемныхъ машинъ имѣетъ опредѣленные предѣлы, обусловливаемые соображеніями относительно ихъ дѣйствія или строительными затрудненіями (см. выше). При нормальныхъ высотахъ подъема, а слѣд. при значительныхъ количествахъ подымаемой воды рѣдко примѣняются машины больше 200 лошад. силъ, преимущественно въ случаѣ горизонтальныхъ машинъ, не смотря на экономическую выгоду крупныхъ машинъ. При превышеніи этого предѣла, вслѣдствіе большихъ размѣровъ и значительнаго вѣса отдѣльныхъ частей машины, въ нихъ могутъ оказаться недостатки, не замѣчаемые снаружи и нарушающіе правильность дѣйствія машины. Тщательный осмотръ крупныхъ металлическихъ частей чрезвычайно обременителенъ, вслѣдствіе чего является опасеніе недосмотра; требующіяся иногда исправленія чрезвычайно затруднительны и отнимаютъ много времени.

Выяснимъ все здѣсь сказанное двумя практическими примѣрами.

Примѣръ 1. Для города съ населеніемъ въ 10000 жителей требуется устроить водоснабженіе, при чемъ слѣдуетъ предвидѣть, что водопроводъ долженъ служить 14 лѣтъ, въ теченіе которыхъ населеніе постоянно возростаетъ на 1%. По мѣстнымъ условіямъ можно безъ большихъ затратъ построить большой напорный резервуаръ для совершеннаго уравниванія колебаній расхода въ теченіе 24 часовъ; расходъ воды можетъ быть принятъ въ 100 литр. въ день на человѣка, а въ жаркое лѣтнее время до 150 литр. Спрашивается, какъ слѣдуетъ разсчитать водоподъемныя машины для дневного дѣйствія (по 14 часовъ въ день) при теоретической высотѣ подъема въ 80 метр.

Собразно съ расходомъ воды и полезной работой въ данномъ случаѣ получаются слѣдующія показанныя на таблицѣ (стр. 523) цифры.

Если поставимъ водоподъемную машину производительностью въ 2700 килограмо-метр. въ секунду, то въ теченіе перваго года она должна работать ежедневно отъ 8,2 до 12,4 часовъ, а втеченіе послѣдняго года—отъ 9,5 до 14,2 часовъ. Такимъ образомъ получается весьма медленное постепенное увеличеніе рабочаго періода и полное использованіе машины и котла, а также и рабочаго персонала, причемъ съ самаго начала средній рабочій періодъ составляетъ больше 8 часовъ, а въ концѣ періода службы водоснабженія рабочее время не превышаетъ 14,2 часовъ въ сутки.

Если желательно ограничиться одной только машиной, то на случай могущаго понадобиться исправленія, для котораго потребуется 48 часовъ, емкость резервуара должна быть 3500 куб. метр. Если же будетъ установлена вторая машина такой же величины, какъ и первая, то емкость резервуара можетъ составлять только 1000 кубич. метр., такъ какъ въ этомъ случаѣ работа машины никогда не будетъ совершенно прервана, и указанной емкостью резервуара могутъ быть уравнены всѣ колебанія расхода втеченіе дня, и доставлены необходимые запасы воды на случай пожара.

Правильность работы въ послѣднемъ случаѣ будетъ болѣе обезпечена. Такимъ образомъ если избытокъ емкости резервуара будетъ имѣть одинаковую или нѣсколько большую стоимость, нежели постановка второй машины съ котломъ и всѣми принадлежностями, то сооруженіе съ меньшимъ резервуаромъ и двумя машинами окажется выгоднѣе. Въ разсматриваемомъ случаѣ это обстоятельство и имѣетъ мѣсто, такъ какъ излишніе расходы на увеличеніе емкости резервуара на 2500 куб. метр. составляетъ около 30—35 тысячъ рублей, между тѣмъ какъ машина съ полезной производительностью около 36 лош. силъ $\left(\frac{2738}{75} = 36{,}5\right)$ со всѣми къ ней принадлежностями вызоветъ расходъ вдвое меньшій.

Очевидно, что въ разсматриваемомъ случаѣ постановка трехъ машинъ, изъ которыхъ каждыя двѣ могутъ развивать наибольшую требуемую производительность, по начальной своей стоимости окажется немногимъ дешевле или даже вовсе не дешевле, нежели постановка двухъ машинъ, изъ коихъ каждая доставляетъ наибольшее ежедневно требуемое количество воды втеченіе 14 часовъ; содержаніе и дѣйствіе 3-хъ машинъ несомнѣнно будетъ дороже, нежели въ случаѣ двухъ машинъ.

Такимъ образомъ постановка двухъ машинъ производительностью по 2738 килогр.-метр. и устройство напорнаго резервуара емкостью въ 1000 куб. метр. могутъ считаться наивыгоднѣйшимъ рѣшеніемъ даннаго вопроса.

Примѣръ 2. Расположенный на ровной мѣстности городъ съ населеніемъ въ 400000 жителей требуется снабжать водой при искусственномъ ея подыманіи помощью водоподъемныхъ машинъ, работающихъ днемъ и ночью. Населеніе возростаетъ ежегодно приблизительно на $2^1/_2{}^0/_0$, и этотъ приростъ слѣдуетъ принять въ соображеніе для первыхъ 10 лѣтъ. Средній расходъ составляетъ на человѣка въ день 100 литр., а наибольшій 130 литр. Теоретическая высота подъема воды помощью насосовъ съ горизонтальными машинами составляетъ 50 метр. Какóво должно быть устройство водоподъемнаго сооруженія, производительность котораго должна соотвѣтствовать потребности водоснабженія черезъ 10 лѣтъ?

Цифры расхода воды и полезной работы въ этомъ случаѣ будутъ:

Въ теченіе года работы.	Число жителей.	Средній расходъ.		Наибольшій расходъ.		Полезная работа.	
		Въ день кубич. метр.	Въ секунду литр. при 22-хъ часовой работѣ.	Въ день кубич. метр.	Въ секунду литр. при 22-хъ часовой работѣ.	Средняя въ килограмометрахъ.	Наибольшая въ килограмометрахъ.
1	400000	40000	505	60000	758	25252	37879
2	410000	41000	518	61500	777	25884	38826
3	420250	42025	531	63038	797	26531	39797
4	430756	43076	544	64614	816	27195	40792
5	441525	44153	557	66229	836	27874	41811
6	452563	45256	571	72884	857	28571	42856
7	463877	46388	586	69582	879	29286	43928
8	475474	47547	600	71321	900	30017	45026
9	487361	48736	615	73104	923	30768	46151
10	499545	49955	631	74933	947	31537	47306

Такимъ образомъ при совершенно равномѣрной работѣ въ день наибольшаго расхода машины должны развивать:

Въ первый годъ работы 37879 : 75 = 505 лош. силъ
„ пятый „ „ 41811 : 75 = 558 „ „
„ десятый „ „ 47306 : 75 = 633 „ „

Если затѣмъ имѣется въ распоряженіи резервуаръ емкостью въ 2000 куб. метр., изъ которыхъ часть должна постоянно сохраняться на случай пожара, то въ день наибольшаго расхода соотвѣтственно наибольшему часовому расходу (см. гл. 1) необходимая производительность возрастетъ въ первый годъ до 505. 1,5 = 758, въ пятый годъ до 558 . 1,5 = 837, а въ десятый годъ до 633 . 1,5 = 950 лошад. силъ. Наименьшій расходъ втеченіе одного изъ ночныхъ часовъ составляетъ половину средняго расхода; поэтому въ первый годъ существованія водопровода временами отъ машинъ потребуется производительность въ 25252 . 0,5 = 12626 килограммо-метр. = 168 лош. силъ.

Въ теченіе года работы.	Число жителей.	Средній расходъ.		Наибольшій расходъ.		Полезная работа.	
		Въ день кубич. метр.	Въ секунду литр. при 14-часовой работѣ.	Въ день кубич. метр.	Въ секунду литр. при 14-часовой работѣ.	Средняя въ килограмо-метр.	Наибольшая въ килограмо-метр.
1	10000	1000	19,8	1500	29,7	1587	2381
2	10100	1010	20,0	1515	30,0	1603	2405
3	10201	1020	20,2	1530	30,3	1619	2429
4	10303	1030	20,4	1545	30,6	1635	2453
5	10406	1041	20,7	1562	31,0	1652	2478
6	10510	1051	20,9	1577	31,4	1668	2502
7	10615	1062	21,1	1593	31,7	1685	2528
8	10721	1072	21,3	1608	32,0	1702	2553
9	10829	1083	21,5	1625	32,3	1719	2579
10	10937	1094	21,7	1641	32,6	1737	2605
11	11046	1105	21,9	1658	32,9	1754	2631
12	11157	1116	22,1	1674	33,2	1771	2657
13	11268	1127	22,4	1691	33,6	1789	2683
14	11381	1138	22,6	1707	33,9	1807	2710
15	11495	1150	22,8	1725	34,2	1825	2738

Такимъ образомъ работа машинъ колеблется между 168 и 950 лош. силами. Принимая практически наибольшую величину машинъ, а именно 200 лош. силъ, мы видимъ, что временами окажется достаточнымъ одной машины, между тѣмъ какъ временами потребуется въ работѣ пять машинъ. Уже втеченіи пятаго года 4-хъ машинъ окажется недостаточно для удовлетворенія наибольшей потребности; между 3-мъ и 4-мъ годомъ уже является необходимость имѣть въ распоряженіи 800 лош. силъ.

Для запаса потребуется по меньшей мѣрѣ одна машина. Такимъ образомъ уже a priori опредѣляется необходимость въ 6 машинахъ по 200 лош. силъ; постановка 6-ой изъ этихъ машинъ можетъ быть отложена до 3-го года работы. Въ этомъ случаѣ во всякое время можно будетъ приспособляться къ колебаніямъ расхода воды, пуская въ работу одновременно одну двѣ, три, четыре или пять машинъ. Распредѣляя эту производительность между большимъ числомъ машинъ, можно избѣгнуть невыгодной работы паровыхъ котловъ (напр. необходимаго въ нѣкоторыхъ случаяхъ тормаженія пара), регулированія турбинъ и проч., такъ какъ каждая изъ меньшихъ машинъ всегда будетъ работать съ нормальнымъ числомъ оборотовъ, а слѣд. и при наиболѣе выгодныхъ условіяхъ.

Помѣщенія для хозяйственныхъ надобностей. Выше нами было неоднократно указано, что при выборѣ водоподъемныхъ машинъ и соотвѣтствующихъ имъ помѣщеній необходимо принять во вниманіе нѣкоторыя взаимнопротивоположныя условія: при дороговизнѣ мѣста для построекъ, дурномъ грунтѣ или различныхъ другихъ затрудненіяхъ, вынуждающихъ по возможности уменьшить площадь постройки, можно выбрать болѣе дорогія машины, но ограничить по возможности площадь помѣщенія, и, наоборотъ, при большой площади для построекъ и хорошемъ грунтѣ можно предпочесть болѣе обширныя помѣщенія и выбрать болѣе дешевыя машины или такія, въ которыхъ болѣе обезпечена правильность дѣйствія и легкость обслуживанія.

Во всякомъ случаѣ помѣщенія для установки водоподъемныхъ машинъ должны быть свѣтлы, теплы, сухи и хорошо вентилируемы. Затѣмъ необходимо принять всѣ мѣры для обезпеченія удобнаго доступа ко всѣмъ частямъ машины. Всѣ затраты въ этихъ видахъ окупаются сбереженіемъ расходовъ на дѣйствіе машинъ, возможнымъ только при надлежащемъ уходѣ, а также и правильностью и постоянствомъ дѣйствія, какъ главнымъ факторомъ водоснабженія. Наконецъ, помѣщенія должны быть устроены такъ, чтобы въ нихъ не только могли бы быть установлены всѣ машины съ принадлежностями, но чтобы при разборкѣ этихъ машинъ въ случаѣ ремонта и проч. онѣ удобно могли бы быть собраны надлежащимъ образомъ.

Смазочныя коробки, къ которымъ доступъ бываетъ неудобенъ, обыкновенно дурно содержатся, не смотря на строгій контроль; то же относится и къ сальниковымъ набивкамъ, прокладкамъ и проч. Изношенныя части машины своевременно не поступаютъ въ ремонтъ, если онѣ не удободоступны. Поэтому каждая часть машины должна быть удободоступна или прямо съ пола машиннаго помѣщенія, или помощью удобныхъ лѣстницъ съ площадокъ; главнымъ образомъ всякая часть машины должна быть хорошо видна, для чего прежде всего необходимо свѣтлое помѣщеніе. Если эти условія не выполнены, то уходъ за машиной затрудняется, и незначительныя поврежденія, которыя при другихъ условіяхъ весьма легко и скоро могли бы быть исправлены, иногда влекутъ за собой серьезныя поломки, сопровождающіяся прекращеніемъ дѣйствія машины. Если машинная станція содержитъ въ себѣ значительное число тяжелыхъ машинныхъ частей, какъ это бываетъ при всѣхъ большихъ и даже среднихъ водоподъемныхъ машинахъ, преимущественно тихоходныхъ, то въ машинномъ помѣщеніи необходимо должны быть установлены подъемные краны для подыманія и перемѣщенія этихъ частей.

Если отдѣльныя части машинъ располагаются подъ поломъ машиннаго помѣщенія, то подвальный этажъ долженъ имѣть такую высоту, при которой въ немъ можно было бы ходить; если на это обстоятельство не обращено должнаго вниманія, то можно быть увѣреннымъ, что за этими частями не будетъ правильнаго и тщательнаго присмотра.

Помѣщенія для установки паровыхъ котловъ должны имѣть размѣры, допускающіе удобное обращеніе съ топкой и замѣну колосниковъ въ случаѣ надобности, а при трубчатыхъ котлахъ допускающіе вытаскиваніе и вставленіе трубъ. Вообще всякое неудобство въ помѣщеніи сильно вредитъ всему сооруженію.

Въ машинныхъ помѣщеніяхъ должна быть соблюдена безусловная чистота и опрятность. При среднихъ и крупныхъ сооруженіяхъ съ паровой силой машины и котлы никогда не должны быть установлены въ одномъ общемъ помѣщеніи, такъ какъ образующіеся при топкѣ пыль, дымъ и проч. сильно загрязняютъ машины, приставая и загрязняя также полы, стѣны, окна и проч. При небольшихъ сооруженіяхъ, въ которыхъ уходъ за машиной и котломъ порученъ одному рабочему, бываютъ случаи, когда отдѣленіе машиннаго помѣщенія отъ котельнаго оказывается невыгоднымъ въ экономическомъ отношеніи, вслѣдствіе увеличенія расходовъ на наемъ лишняго рабочаго. Но и въ этихъ случаяхъ необходимо обращать весьма серьезное вниманіе на соблюденіе чистоты, которому много содѣйствуетъ устройство въ помѣщеніи гладкихъ поверхностей безъ выступовъ или какихъ либо украшеній; для этого стѣны должны быть гладко оштукатурены и выкрашены масляной краской, а полы должны быть гладкіе, каменные. Съ наружной стороны всякое украшеніе подобныхъ зданій не имѣетъ смысла. Подобныя сооруженія, приспосабливаемыя къ измѣняющимся потребностямъ, никогда не имѣютъ характера постоянныхъ сооруженій, а всегда представляютъ собой зданія болѣе или менѣе временныя, каковыми они и должны быть по внѣшнему своему виду. При возведеніи изящныхъ зданій очень часто, какъ напр. въ случаѣ расширенія сооруженія и измѣненія общаго расположенія, стремленіе къ сохраненію красивой внѣшности зданія идетъ во вредъ правильности вида сооруженія, требуемой данными условіями.

Фиг. 242.

Фиг. 243.

Въ то время какъ въ машинныхъ помѣщеніяхъ, какъ упомянуто выше, слѣдуетъ стремиться къ возможно обильному освѣщенію для облегченія наблюденія за машинами, устройство многихъ оконъ въ котельномъ помѣщеніи менѣе цѣлесообразно; здѣсь достаточно только хорошо освѣтить съ обоихъ боковъ топочныхъ дверецъ или передней стѣнки (фронта) котла. Чѣмъ больше оконъ устроено въ котельномъ помѣщеніи, тѣмъ больше бываетъ потеря теплоты отъ лучеиспусканія въ зимнее время. Въ машинномъ помѣщеніи должно быть устроено хорошее отопленіе, такъ какъ сохраненіе равномѣрной температуры представляетъ собой настоятельную потребность какъ для рабочаго персонала, такъ и для самихъ машинъ.

Машинное и котельное помѣщенія всегда должны быть расположены рядомъ. Въ нашемъ климатѣ при котельномъ помѣщеніи необходимо долженъ быть устроенъ навѣсъ для дровъ или угля, а также и приняты мѣры къ удобной и легкой доставкѣ топлива къ котламъ. Если это возможно безъ чрезмѣрно большихъ расходовъ, то для доставленія топлива долженъ быть устроенъ рельсовый путь или, по меньшей мѣрѣ, вымощенная гладкая дорожка.

Разсматривая сперва исключительно только общее расположеніе большихъ сооруженій съ паровыми насосами, можно предлагать одно изъ расположеній, показанныхъ на фиг. 242 и 243, въ зависимости отъ расположенія насосной станціи и мѣстности постройки; въ первомъ изъ нихъ прилегающая дорога или рельсовый путь для подвоза топлива расположенъ перпендикулярно главной оси постройки, а во второмъ дорога расположена параллельно главной оси зданія. Передъ входомъ въ машинное помѣщеніе обыкновенно располагается еще конторка и небольшая мастерская. Соединеніе жилыхъ помѣщеній съ машинной комнатой весьма неудобно, вслѣдствіе трудности отдѣленія собственно необходимаго рабочаго помѣщенія отъ жилья. Если же устройство жилыхъ помѣщеній неизбѣжно, какъ это, напр., бываетъ въ удаленныхъ отъ селеній мѣстахъ то необходимо возможно строго отдѣлять жилыя помѣщенія отъ насосной станціи.

Соединеніе болѣе или менѣе крупныхъ ремонтныхъ мастерскихъ съ большими насосными станціями можно допускать только въ тѣхъ случахъ, когда вблизи послѣднихъ нѣтъ никакихъ механическихъ заводовъ; но въ подобномъ случаѣ необходимо назначить отдѣльный персоналъ для мастерской. Занятые уходомъ и надзоромъ за водоподъемнымъ сооруженіемъ машинисты, кочегары и проч. обыкновенно не располагаютъ свободнымъ временемъ для занятія ремонтомъ; они могутъ только временами производить самыя незначительныя исправленія, замѣны изношенныхъ частей запасными и т. под. мелкими работами, для которыхъ оказывается вполнѣ достаточной одна комната съ верстакомъ и тисками, а также и сверлильнымъ станкомъ.

Для сохраненія смазочныхъ и обтирочныхъ матеріаловъ и т. под. должно быть отведено отдѣльное помѣщеніе; въ большей части случаевъ для этой цѣли оказывается достаточнымъ помѣщеніе, отдѣленное въ машинной комнатѣ или котельной. Точно также необходимо имѣть помѣщеніе для храненія запасныхъ частей, которое можетъ быть отгорожено въ самой мастерской.

Всѣ приспособленія, служащія для облегченія обслуживанія сооруженія, а также и дающія возможность машинисту во всякое время легко опредѣлить уровень воды въ резервуарахъ, колодцахъ и т. д, должны быть расположены въ машинномъ помѣщеніи по возможности на видныхъ мѣстахъ; весьма полезно установить телефонное сообщеніе между машиннымъ помѣщеніемъ и ремонтной мастерской (или ближайшимъ машиностроительнымъ заводомъ). Всѣ другія хозяйственныя принадлежности (какъ напр. угольныя тележки, лопаты, лебедки, блоки, освѣтительные приборы для могущихъ понадобиться ночныхъ работъ, приспособленія для промывки сѣтей и проч и проч.) должны всегда находиться налицо и въ полной исправности, такъ какъ отсутствіе или неисправность этихъ предметовъ можетъ служить причиной небрежнаго ухода за сооруженіемъ.

Между отдѣльными помѣщеніями общаго водоподъемнаго сооруженія, конечно, должно существовать удобное сообщеніе; всѣ эти помѣщенія связываются между собой такъ, какъ показано на фиг. 242 и 243.

Что касается видовъ на дальнѣйшія расширенія сооруженія, то при устройствѣ машиннаго и котельнаго помѣщеній, а равно какъ и другихъ водопроводныхъ сооруженій, нѣтъ надобности принимать въ соображеніе потребности далекаго будущаго; обыкновенно можно ограничиться тѣмъ, что кромѣ немедленно по-

требныхъ машинъ (со включеніемъ запасныхъ) оставляютъ мѣсто еще для одной большой машины и соотвѣтствующаго ей котла.

Стоимость машинныхъ и котельныхъ помѣщеній при солидной ихъ постройкѣ и благопріятныхъ условіяхъ грунта, приблизительно можетъ быть принята въ 50—65 рублей на 1 кв. метр. площади постройки, не считая стоимости фундаментовъ, а также и самихъ машинъ и котловъ. Необходимые при этомъ двухъ-этажные жилые дома приблизительно могутъ быть оцѣнены по 75—100 руб. на 1 кв. метр. площади постройки. Для болѣе подробнаго и точнаго опредѣленія стоимости построекъ необходимо руководствоваться мѣстными условіями, а также планомъ постройки и мѣстными цѣнами на строительные матеріалы.

Въ случаяхъ водоподъемныхъ сооруженій, приводимыхъ въ дѣйствіе водяной силой, можно вообще здѣсь замѣтить, что машинное (насосное помѣщеніе) не должно затопляться полой водой и должно быть совершенно отдѣлено отъ помѣщенія двигателей; въ остальномъ здѣсь должны быть соблюдены приведенныя выше условія. Моторное помѣщеніе, снабженное сливными опоражнивающими приспособленіями, конечно, должно соотвѣтствовать роду и числу устанавливаемыхъ двигателей; обыкновенно мѣстныя условія и другія обстоятельства точно указываютъ мѣсто постановки двигателей и устройство соединенія его съ насоснымъ помѣщеніемъ. Отъ этого устройства отчасти зависитъ и видъ послѣдняго помѣщенія. Если имѣется въ виду современемъ расходовать большее количество рабочей воды, то въ двигательномъ помѣшеніи должно быть оставлено свободное мѣсто для добавочнаго двигателя. Затѣмъ необходимо озаботиться солиднымъ устройствомъ фундаментовъ подъ подушки устанавливаемыхъ двигателей, а также и легкой доступностью и абсолютной водонепроницаемостью стѣнъ между моторнымъ и машиннымъ помѣщеніями.

При дѣйствіи водоподъемныхъ сооруженій помощью газовыхъ двигателей или электромоторовъ обыкновенно имѣютъ въ виду по возможности уменьшить размѣры занимаемаго машинами помѣщенія; въ этихъ случаяхъ, насосы и двигатели почти всегда ставятся въ одномъ общемъ помѣщеніи, которое должно удовлетворять условіямъ, предъявляемымъ къ машинному помѣщенію.

Обслуживаніе всего водоподъемнаго сооруженія. Отъ правильной работы водоподъемныхъ машинъ несомнѣнно зависитъ все основанное на искусственномъ поднятіи воды водоснабженіе; поэтому исправное состояніе машинъ и уходъ за ними имѣетъ весьма важное значеніе. Прежде всего работоспособность машинъ зависитъ отъ конструкціи двигателей и насосовъ, разсмотрѣнной нами выше. Точно также съ конструкціей машинъ связана ихъ прочность: чѣмъ меньше вообще натяженіе металла въ отдѣльныхъ частяхъ машины, и чѣмъ точнѣе всѣ движенія въ машинѣ совпадаютъ съ предположенными при проектированіи ея, тѣмъ долговѣчнѣе бываетъ водоподъемная машина, и тѣмъ болѣе обезпечено правильное ея дѣйствіе. Съ другой стороны условіе, что машинѣ должно быть доставлено только то, для чего она разсчитана, опредѣляетъ собой второй весьма важный факторъ, а именно: правильное управленіе машиной. Отсюда дѣлается очевидной та отвѣтственность, которая падаетъ на инженера при выборѣ назначеннаго для этой службы лица. Машинистъ не только долженъ основательно понимать конструктивное устройство всего сооруженія, но долженъ обладать достаточными познаніями и развитіемъ, чтобы самостоятельно съ надлежащей ловкостью и присутствіемъ духа принять необходимыя мѣры въ случаѣ какихъ-либо непредвидѣнныхъ явленій. Помимо

развитія и знанія онъ долженъ обладать еще и другой характерной особенностью, а именно любознательностью въ своемъ дѣлѣ и самообладаніемъ

Даже несвѣдущему человѣку легко замѣтить, гдѣ хорошее само по себѣ сооруженіе содержится и обслуживается хорошо, и гдѣ нѣтъ. Въ первомъ случаѣ во всемъ сооруженіи до мельчайшихъ его деталей видна чистота и опрятность; даже послѣ долговременной работы обращеніе съ машиной производитъ такое впечатлѣніе, какъ будто она была-бы совершенно новою. Подобная чистота является абсолютной необходимостью, а не роскошью, какъ это многіе думаютъ иногда со словъ небрежныхъ машинистовъ. Она служитъ доказательствомъ, что машинистъ часто и съ одинаковой заботливостью наблюдаетъ за всякой отдѣльной частью машины, при чемъ отъ него не можетъ ускользнуть, если какая либо часть машины или какое-либо приспособленіе начинаетъ работать неправильно или находится въ состояніи изношенности, требуя замѣны или исправленія.

Машина прежде всего должна имѣть легкій, безшумный и плавный ходъ безъ ударовъ или толчковъ; всѣ трущіяся части должны надежно смазываться, чѣмъ онѣ предохраняются отъ изнашиванія и нагрѣванія; всякое расшатываніе или игра движущихся частей должна быть своевременно устранена или урегулирована сообразно неизбѣжнымъ измѣненіямъ геометрическихъ ихъ измѣреній вслѣдствіе изнашиванія; въ насосахъ не должно быть допущено никакой потери или присачиванія воды, а также и прониканія въ нихъ воздуха..

Въ случаѣ примѣненія паровыхъ машинъ въ нихъ не должно замѣчаться потери пара черезъ сальники и проч. Тишина, порядокъ и чистота въ машинномъ помѣщеніи, при примѣненіи паровыхъ машинъ, на всякаго производитъ впечатлѣніе хорошо содержимаго и обслуживаемаго сооруженія.

Если для дѣйствія насосовъ примѣняются газовые или нефтяные двигатели, то золотники, поршни и стѣнки цилиндра, выпускные клапана и проч. должны часто очищаться, такъ какъ вслѣдствіе высокой температуры при взрывѣ сзади поршня пригораетъ смазочное масло. Продукты горѣнія никогда не должны скопляться въ значительныхъ количествахъ, такъ какъ скопленіе ихъ дѣйствуетъ разрушительно на рабочія поверхности, на которыхъ они скопляются.

Электромоторы сравнительно легко содержать въ исправности; вслѣдствіе значительнаго числа оборотовъ этихъ моторовъ они главнымъ образомъ требуютъ хорошей смазки, т. е. приспособленія, обезпечивающаго правильный притокъ масла.

Работа тюрбинами, наоборотъ, ставитъ особыя требованія относительно внимательности и способности машиниста. Измѣненіе притока воды къ двигателю требуетъ частаго регулированія; быстрое устраненіе перерывовъ работы вслѣдствіе прониканія постороннихъ предметовъ черезъ рѣшетку и застряванія ихъ въ тюрбинномъ колесѣ требуетъ весьма опасной работы въ водѣ, преимущественно въ случаѣ такихъ тюрбинъ, колеса которыхъ доступны съ выпускной только стороны; общій осмотръ каналовъ обусловливаетъ собой частичную разборку сооруженія, и проч. и проч. Почти всѣ подобныя работы чрезвычайно затруднительны и непріятны, почему ими, къ сожалѣнію, часто пренебрегаютъ, чѣмъ во многихъ случаяхъ объясняется уменьшеніе производительности соруженія. Водяныя колеса легче обслуживаются и содержатся въ исправности, нежели тюрбины.

Само собой разумѣется, что приводимыя въ движеніе водяными двигателями машины не могутъ работать безъ шума; точто также безшумная работа невозможна при газовыхъ двигателяхъ, электромоторахъ и пр., отъ которыхъ движеніе машинамъ передается помощью зубчатыхъ колесъ.

Въ техническомъ отношеніи весьма важно, чтобы машины не только были бы снабжены всѣми приспособленіями для удобной и правильной смазки (по возможности автоматической), а также для распознаванія разныхъ явленій внутри двигателей, насосовъ, воздушныхъ котловъ и проч., но чтобы всегда имѣлось извѣстное количество запасныхъ частей къ машинамъ для возможности безпрепятственной и немедленной замѣны негодныхъ частей въ случаѣ надобности. Само собой разумѣется, что къ принадлежностямъ машины слѣдуетъ отнести всю арматуру, а также всѣ необходимые для ихъ обслуживанія инструменты. Въ случаѣ какой либо замѣченной погрѣшности, она немедленно должна быть исправлена, что составляетъ самое важное правило при работѣ всякой машины.

Спеціальныя техническія наставленія для управленія машинами, необходимыя указанія машинистамъ и проч., а также и свѣдѣнія о контролѣ надъ работой сооруженія и ея результатахъ въ отношеніи расхода топлива, смазочныхъ матеріаловъ и проч., приводятся въ различныхъ спеціальныхъ руководствахъ.

Что же касается содержанія въ исправности зданій, фундаментовъ и проч., то, само собой разумѣется, и здѣсь вполнѣ справедливо правило, по которому ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ медлить никакимъ необходимымъ ремонтомъ. Особенная внимательность требуется по отношенію къ фундаментамъ. Уходъ за притоками къ водянымъ двигателямъ ограничивается содержаніемъ въ исправности плотины, своевременной чисткой и исправленіемъ канала, чисткой рѣшетокъ при открытыхъ каналахъ и т. д. Обыкновенно эти работы не представляютъ никакихъ затрудненій и въ большей части мѣстностей онѣ относятся къ предписаніямъ мѣстной полиціи. При закрытыхъ трубопроводахъ главнымъ образомъ необходимо наблюдать за тѣмъ, чтобы въ зимнее время вода въ нихъ никогда не застаивалась бы, а слѣдовательно не произошло бы ея замерзанія, влекущаго за собой разрывъ трубопровода. Если трубы не зарыты въ землю, а проведены надъ поверхностью земли (причемъ большей частью употребляются клепаныя желѣзныя трубы), то онѣ должны быть окружены тепло-непроницаемой массой (напр. соломой, соломенными жгутами и проч.), такъ какъ, въ противномъ случаѣ, на внутренней поверхности трубы образуется ледяная оболочка, уменьшающая поперечное сѣченіе трубы и отпадающая во время оттепели, причемъ куски льда могутъ попасть въ тюрбины и вызвать нарушенія правильной работы или даже остановку.

Стоимость подыманія воды. Мы уже неоднократно указывали, что при опредѣленіи стоимости подыманія воды необходимо принять въ соображеніе все сооруженіе въ широкомъ смыслѣ слова, а именно: напорный бакъ, трубопроводъ и водоподъемное сооруженіе вмѣстѣ со зданіями. Зависимость между послѣдними тремя факторами указана нами выше. Напорный резервуаръ имѣетъ значеніе въ томъ отношеніи, что его емкостью обусловливается рабочій періодъ машинъ.

Если отнести стоимость къ единицѣ работы (напр. къ подыманію 1000 куб. метр. воды на высоту 1 метра), то оказывается, что она вообще при большихъ и безпрерывно дѣйствующихъ водоподъемныхъ сооруженіяхъ, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, меньше, нежели при среднихъ и малыхъ сооруженіяхъ. Это основывается на томъ, что отнесенная къ единицѣ работы рабочая плата при малыхъ и среднихъ сооруженіяхъ составляетъ болѣе значительную сумму, и что полезная работа N (ур. 5), развиваемая большими двигателями, бываетъ больше развиваемой малыми и средними двигателями. Индикаторная работа первыхъ двигателей въ соединеніи съ насосами, т. е. полезная и теряемая работа вмѣстѣ, обыкновенно должна составлять 1,25 N, между тѣмъ какъ въ послѣднихъ она обыкновенно составляетъ 1,5 N даже при отсутствіи всякихъ промежуточныхъ передачъ.

Расходы, кромѣ того, бываютъ весьма различны въ зависимости отъ рода употребляемыхъ моторовъ, т. е. отъ рода двигательной силы. Обыкновенно, хотя не во всѣхъ случаяхъ, они сравнительно малы при примѣненіи водяной силы, нѣсколько больше при паровой силѣ и еще больше при газовыхъ машинахъ. При примѣненіи электромоторовъ продуцированіе электрической энергіи силой пара, проводъ (а иногда и трансформированіе) ея къ электромотору и передача отъ него къ насосу оказывается дороже непосредственнаго примѣненія паровой силы.

Выше мы замѣтили, что необходимость время отъ времени останавливать двигатели и насосы (преимущественно паровые котлы) для возможности ихъ осмотра, чистки и исправленія, при непрерывной работѣ машины, обусловливаетъ собой необходимость запасныхъ машинъ. Но слѣдутъ еще замѣтить, что всякая машина постепенно приближается къ тому предѣльному состоянію, при которомъ дальнѣйшее ея примѣненіе вообще представляется сомнительнымъ. Точное распознаніе этого предѣла незатруднительно; но очень часто для, достиженія своевременной замѣны машины требуются чрезвычайно энергичныя мѣры которыя лежатъ на обязанности управляющаго сооруженіемъ, такъ какъ въ противномъ случѣ можетъ наступить такой моментъ, что машина прекратитъ работать именно тогда, когда въ ея работѣ ощущается наиболѣе настоятельная необходимость.

Въ сравненіи съ паровой силой, какъ упомянуто было выше, газовые двигатели и электромоторы могутъ быть разсматриваемы въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣемъ дѣло съ временнымъ водоподъемнымъ сооруженіемъ, при которомъ особое значеніе придается быстрой во всякое время установкѣ и небольшому числу служащихъ (обыкновенно достаточно одного человѣка). Во многихъ случаяхъ рѣшающимъ факторомъ является то обстоятельство, преимущественно при небольшихъ сооруженіяхъ, что оказывается удобнымъ пользоваться существующимъ газопроводомъ или электрической энергіей, въ видахъ-ли дешевизны или въ видахъ поддержанія этихъ предпріятій. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ этимъ средствамъ по невѣдѣнію и на основаніи неправильныхъ разсчетовъ въ томъ убѣжденіи, что эти способы дешевле водяной или паровой силы.

Большая часть крупныхъ водопроводныхъ сооруженій работаетъ паромъ. Если обозначимъ черезъ:

F—площадь машиннаго и котельнаго помѣщеній, a_1—стоимость постройки на 1 кв. метр. занимаемой помѣщеніемъ площади пола, p_1—коэффиціентъ, соотвѣтствующій правильному размѣру процентовъ на капиталъ, содержанію строеній и погашенію;

f—площадь жилыхъ зданій, a_2—стоимость постройки на 1 кв. метръ площади пола, p_2—коэффиціентъ, соотвѣтствующій процентамъ, содержанію и погашенію;

A—единовременный расходъ на устройство угольнаго подвознаго пути и другихъ побочныхъ сооруженій всякаго рода, огражденій и проч., p_3—коэффиціентъ, соотвѣтствующій размѣрамъ процентовъ погашенія и стоимости сооруженія;

D—діаметръ и L—длину напорнаго трубопровода въ метрахъ, а слѣд. cDL—годовой расходъ на трубопроводы (обыкновенно с составляетъ 4—5%);

M—годовой расходъ на дѣйствіе машинъ, состоящій изъ процентовъ и погашенія строительнаго капитала, расхода топлива, смазочныхъ и обтирочныхъ матеріаловъ, а также очищенія питательной воды, ремонта и запасныхъ частей;

M_1—годовой расходъ, насостоящій изъ процентовъ и погашенія основного капитала, расхода по содержанію фундаментовъ подъ машинами, вмазки котловъ и ея фундаментовъ, дымовой трубы и проч. (около 5—6%);

P—годовой расходъ на плату рабочимъ,

то независимо отъ водосборнаго сооруженія и всасывающаго трубопровода годовой расходъ J будетъ:

$$J = Fa_1p_1 + fa_2p_2 + Ap_3 + cDL + M + M_1 + P.$$

При абсолютной высотѣ подъема (ур. 4) h_0—h и при подыманіи V кубич. метр. воды въ годъ, стоимость подыманія 1000 куб. метр. воды на высоту 1 метра и передачи ея въ напорный бакъ будетъ:

$$K = \frac{1000J}{V(h_0 - h)}$$

Выражая всѣ цѣны въ рубляхъ, обыкновенно выбираютъ: $a_1 = 50$ до 60, $p_1 = 0{,}1$ до 0.12, $a_2 = 75$ до 100, $p_2 = 0{,}1$ до 0,12, $p_3 = 0{,}12$ до 0,16. Для машиннаго устройства, какъ упомянуто выше, принимаютъ проценты, погашеніе и ремонтъ въ 7—8%, а для котловъ со включеніемъ запасныхъ частей и проч. 10 до 11%. Расходъ смазочныхъ и обтирочныхъ матеріаловъ можно считать въ среднемъ отъ 15 до 25 рублей въ годъ на полезную лошад. силу, и тѣмъ меньше, чѣмъ машина проще, и обратно. Что же касается расхода на плату рабочимъ, то при одной только дневной работѣ (въ крайнемъ случаѣ около 14 часовъ) и при среднемъ сооруженіи достаточно одного машиниста, одного кочегара и одного временно-рабочаго; для большихъ сооруженій принимаютъ одного старшаго машиниста (мастера), одного машиниста и двухъ ко-

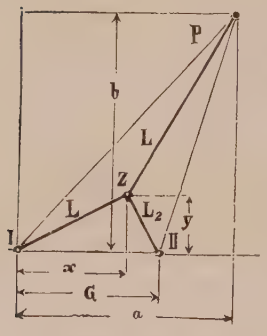
чегаровъ. Для безпрерывнаго дѣйствія персоналъ долженъ быть удвоенъ. При малыхъ сооруженіяхъ обыкновенно оказывается достаточнымъ одного машиниста и одного вспомогательнаго рабочаго. Стоимость К при дѣйствіи паромъ колеблется между 10 и 38 копейками.

Вычисляя подобнымъ же путемъ расходы при другихъ двигательныхъ силахъ и сравнивая ихъ съ полученными для паровой силы, получаемъ цифры, служащія для выбора той или другой двигательной силы.

Иногда, впрочемъ, на выборъ двигательной силы для водоснабженія имѣютъ рѣшающее значеніе другія побочныя условія, которыя необходимо принимать въ разсчетъ, и которыя обусловливаютъ собой расходъ. Въ зависимости отъ положенія насосной станціи можетъ явиться требованіе, чтобы работа производилась безъ шума, безъ дыма и проч. (т. е. устраненіе машинъ съ выпусками въ атмосферу, топокъ, зубчатыхъ передачъ и проч.); по нѣкоторымъ соображеніямъ могутъ быть напередъ выбраны опредѣленные двигатели, какъ напр. водяные, газовые и пр. въ зависимости отъ желанія заказчика. Подобные случаи далеко не рѣдки, и мы сочли нужнымъ указать на нихъ, такъ какъ иногда безъ принятія въ соображеніе этихъ побочныхъ условій являются несправедливые упреки по поводу исполненныхъ сооруженій, преимущественно вслѣдствіе высокой ихъ стоимости.

3. Общій проводъ изъ различныхъ водосборовъ.

Если вода доставляется различными источниками (I, II, какъ на фиг. 244), отъ которыхъ она должна быть проведена въ опредѣленное мѣсто P, то въ рѣдкихъ только случаяхъ устраиваются отдѣльные проводы IP, IIP отъ каждаго источника къ точкѣ P. Если еще при этомъ точка P расположена на болѣе или менѣе значительномъ разстояніи отъ мѣстъ добыванія воды, то отъ нея проводится одна только труба или открытый каналъ до нѣкоторой точки Z, расположенной вблизи источниковъ, и отвѣтвленіе этого трубопровода или канала начинается только у этой послѣдней точки.



Фиг. 244.

Допустимъ сперва, что имѣются 2 водосбора I и II (фиг. 244), расположенные на различныхъ высотахъ; въ этомъ случаѣ вообще вопросъ сводится къ опредѣленію размѣровъ проводовъ сообразно съ количествомъ доставляемой источниками воды и существующими высотами напора. Если всѣ высоты отнести къ уровню моря, то дѣйствительная высота z (см. отд. IV, гл. B) въ точкѣ Z, считая отъ уровня моря, должна быть меньше высотъ h_1 или h_2, соотвѣтствующихъ наинизшему уровню воды въ водосборахъ I и II. Если положеніе точки Z впередъ намъ извѣстно (по разстояніямъ L, L_1 и L_2), а также извѣстна высота z этой точки, то легко опредѣлить размѣры всѣхъ проводовъ (см. отд. IV гл. 16). Если черезъ D, D_1 и D_2 обозначимъ ширины каналовъ на разстояніяхъ L, L_1 и L_2, черезъ h необходимую высоту напора въ точкѣ P, черезъ Q, Q_1 и Q_2 соотвѣтствующія количества воды и черезъ λ постоянный коэффиціентъ (значеніе котораго опредѣляется, какъ указано въ отд. IV, гл. 15), то получимъ:

$$1)\ D_1 = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q_1^2 L_1}{h_1 - z}} \qquad 2)\ D_2 = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q_2^2 L_2}{h_2 - z}} \qquad 3)\ D = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q^2 L}{z \quad h}}$$

Если же впередъ намъ неизвѣстно ни положеніе точки Z, ни высота z въ этой точкѣ, то вопросъ о проводѣ воды къ P допускаетъ различныя рѣшенія, изъ коихъ должно быть выбрано то, которое соотвѣтствуетъ наименьшей общей стоимости, какъ мы это увидимъ ниже.

Общая стоимость всѣхъ трехъ проводовъ будетъ:

$$K = m\,(L_1 D_1 + L_2 D_2 + L D).$$

Изъ ур. 1), 2) и 3) получаемъ:

$$L_1 D_1 = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q_1^2 L^6}{h_1 - z}},\quad L_2 D_2 = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q_2^2 L_2^6}{h_2 - z}},\quad L D = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q^2 L^6}{z - h}}.$$

Изъ чертежа видно, что:

$$L_1 = \sqrt{x^2 + y^2};\ L_2 = \sqrt{(c-x)^2 + y^2};\ L = \sqrt{(a-x)^2 + (b-y)^2}.$$

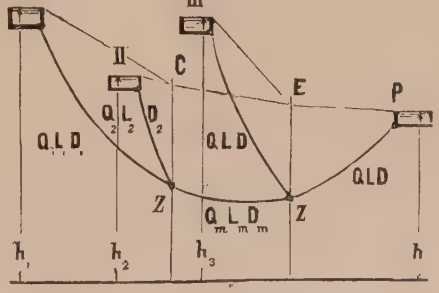
Для опредѣленія наименьшей величины K необходимо взять первыя производныя $\frac{dk}{dx}$, $\frac{dk}{dy}$ и $\frac{dk}{dz}$ и приравнять каждую изъ нихъ нулю. Отсюда получаются 3 уравненія:

$$4)\ O = \sqrt[5]{\frac{Q^2 x}{(h_1 - z)(x^2+y^2)^2}} - \sqrt[5]{\frac{Q_2^2 (c-x)}{(h_2 - z)\,[(c-x)^2 + y^2]^2}} - \sqrt[5]{\frac{Q^2 (a-x)}{(z-h)\,[(a-x)^2 + (b+y)^2]^2}}$$

$$5)\ O = \sqrt[5]{\frac{Q_1^2 y}{(h-z)(x^2+y^2)^2}} + \sqrt[5]{\frac{Q_2^2 y}{(h_2 - z)\,[(c-x)^2 + y^2]^2}} - \sqrt[5]{\frac{Q^2 (b-y)}{(z-h)\,[(a-x)^2 + (b-y)^2]^2}}$$ и

$$6)\ O = \sqrt[5]{\frac{Q_1^2 (x^2+y^2)^3}{(h-z)^6}} + \sqrt[5]{\frac{Q_2^2\,[(c-x)^2 + y^2]^2}{(h_2 - z)^6}} - \sqrt[5]{\frac{Q^2\,[(a-x)^2 + (b-y)^2]^3}{(z-h)^6}}.$$

Рѣшеніемъ этихъ уравненій могутъ быть опредѣлены значенія x, y, z, а слѣд. и размѣры проводовъ, соотвѣтствующіе наименьшей ихъ стоимости. Но рѣшеніе этихъ уравненій довольно затруднительно.



Фиг. 245.

Рѣшеніе вопроса будетъ гораздо проще, если, какъ это обыкновенно имѣетъ мѣсто въ практикѣ, положеніе соединительной точки Z намъ извѣстно, т. е. если для соединительныхъ проводовъ заданы опредѣленные пути L_1, L_2 и L. Въ этомъ случаѣ изъ ур. 6) получаемъ:

$$7)\ O = \sqrt[5]{\frac{Q_1^2 L_1^6}{(h_1 - z)^6}} + \sqrt[5]{\frac{Q_2^2 L_2^6}{(h_2 - z)^6}} - \sqrt[5]{\frac{Q^2 L^6}{(z-h)^6}},$$

и по этимъ уравненіямъ пробными вычисленіями легко опредѣлить величину z.

Отсюда ясно, какъ поступать въ случаѣ большого числа отвѣтвленій. Такъ, въ показанномъ на фиг. 245 случаѣ, помимо ур. 1), 2) и 3) даются еще:

$$8)\ D_3 = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q_3^2 L_3}{h_3 - z}},\qquad 9)\ D_m = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q_m^2 L_m}{(z_m - z)}};$$

принимая стоимость проводовъ:

$$K = m\,(L_1 D_1 + L_2 D_2 + L_3 D_3 + L_m D_m + L D)$$

и взявши частныя производныя по z_m и соотвѣтственно по z, приравненныя нулю, получаемъ:

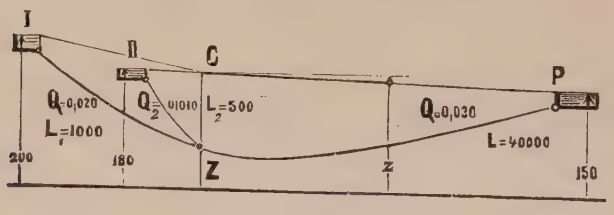
$$10)\quad O = \sqrt[5]{\frac{Q_1 L_1^6}{(h_1 - z_m)^6}} + \sqrt[5]{\frac{Q_2^2 L_2^6}{(h_2 - z_m)^6}} + \sqrt[5]{\frac{Q_m^2 L_m^6}{(z_m - z_j^6}},$$

$$11)\quad O = \sqrt[5]{\frac{Q_m L^2 m^6}{(z_m - z)^6}} + \sqrt[5]{\frac{Q_3^2 L_3^6}{(h_3 - z)^6}} - \sqrt[5]{\frac{Q^2 L^6}{(h - z)^6}}.$$

Этими уравненіями опредѣляются величины z и z_m, по которымъ и рѣшается задача, и т. д.

Если для провода воды выбраны открытые каналы, размѣры которыхъ опредѣлены по вышеприведеннымъ уравненіямъ, то уровень воды въ проводныхъ каналахъ, или продольная профиль, долженъ быть направленъ по линіямъ IC, IIC, CE, IIIE, EP; въ случаѣ закрытыхъ трубопроводовъ эти линіи опредѣляютъ собой дѣйствительныя высоты напора, т. е. онѣ опредѣляютъ собой тѣ предѣлы, до которыхъ вода будетъ подыматься по вертикальнымъ трубамъ, вставленнымъ въ отверстія, просверленныя въ проводѣ въ какомъ нибудь мѣстѣ ниже этой линіи (см. отд. IV, гл. 13).

При аналитическомъ разборѣ мы приняли количества воды Q_1, Q_2, Q_3 и проч. постоянными; въ дѣйствительности-же это бываетъ весьма рѣдко. Количества воды, даваемой ключами, бываютъ перемѣнчивы (см. отд. 1, гл. 7), и эти измѣненія во всякое время и во всякомъ мѣстѣ бываютъ различны въ зависимости отъ внѣшнихъ условій. Съ другой стороны полученные теоретическимъ путемъ размѣры проводовъ въ большинствѣ случаевъ не соотвѣтствуютъ обыкновеннымъ, принятымъ въ практикѣ; поэтому всегда слѣдуетъ выбирать ближайшіе большіе размѣры, встрѣчаемые въ практикѣ. Основываясь на этомъ, можно при устройствѣ трубопроводовъ и каналовъ руководствоваться такими соображеніями, которыя значительно облегчаютъ предварительныя вычисленія и быстро ведутъ къ желаемой цѣли. Разсмотримъ теперь подробнѣе этотъ способъ.



Фиг. 246.

Если проведемъ отъ уровня воды наиболѣе низко расположеннаго водосбора (II на фиг. 245 и 246) прямую линію къ точкѣ P, то эта прямая изображаетъ собой паденіе главнаго провода ZP, которое всегда принимается въ разсчетъ при вычисленіи наименьшей стоимости. По величинѣ этого паденія и количеству пропускаемой по главному проводу воды можно приблизительно опредѣлить наименьшую профиль или наименьшіе размѣры канала. Принимая затѣмъ ближайшій большій практическій размѣръ, получаемъ новое, относительно меньшее, паденіе EP (фиг. 245), и соотвѣтственно ему—точку E. Отъ точки E назадъ опять повторяемъ приведенную операцію и опредѣляемъ точку C. Такимъ образомъ опредѣляются величины z и z_m, D и D_m, по которымъ уже нетрудно опредѣлить величины D_1, D_2 и D_3, а по нимъ общую стоимость K.

Исходя еще разъ изъ точки P съ ближайшей соотвѣтствующей шириной провода и производя такимъ-же путемъ вычисленіе въ обратномъ направленіи,

мы тотчасъ же убѣдимся въ томъ, увеличивается-ли или уменьшается стоимость. Въ первомъ случаѣ мы видимъ, что предыдущее рѣшеніе представляетъ собой наивыгоднѣйшее; во второмъ-же случаѣ необходимо продолжать вычисленіе по приведенному способу до тѣхъ поръ, пока стоимость начнетъ переходить отъ убыванія къ возрастанію. Въ точкѣ поворота тогда находится правильное рѣшеніе задачи.

Относительно вводимыхъ въ эти вычисленія количествъ воды необходимо замѣтить, что не во всѣхъ случаяхъ проводятся наибольшія количества воды, доставляемой ключами; большей частью проводы вычисляются такъ, чтобы они соотвѣтствовали потребности въ точкѣ P, которой должны удовлетворять наименьшіе или средніе притоки изъ источниковъ. Затѣмъ иногда необходимо опредѣлить, не произойдетъ-ли подпоръ воды или даже переливаніе ея въ II при наибольшемъ притокѣ изъ I и III и при округленныхъ согласно вышеизложенному размѣрахъ проводовъ IZ_m и $IIIZ$, и какъ предупредить подобное явленіе. Очевидно, что это явленіе при открытыхъ уровняхъ воды можетъ быть предупреждено простыми боковыми сливами, расположенными въ C и E; при закрытыхъ-же трубопроводахъ эти сливы могутъ быть устроены только стоячими трубами или боковыми трубами, направленными къ вершинѣ горы или вообще къ возвышенной точкѣ.

Разъяснимъ способъ вычисленія путемъ примѣра.

Отъ колодезныхъ камеръ I и II (фиг. 246) требуется устроить проводъ къ резервуару *P*. Уровни воды въ колодезныхъ камерахъ имѣютъ написанныя на чертежѣ высоты надъ уровнемъ моря и разстоянія, обозначенныя чрезъ L_1 L_2 и L. Требуется опредѣлить размѣры проводовъ для указанныхъ на чертежѣ количествъ воды Q_1, Q_2 и Q?

Руководствуясь сперва ур 7), получаемъ:

$$O = \sqrt[5]{\frac{0{,}02^2 \cdot 1000^6}{(200-z)^6}} + \sqrt[5]{\frac{0{,}01^2 \cdot 500^6}{(180-z)^6}} - \sqrt[5]{\frac{0{,}03^2 \cdot 4000^6}{(z-150)^6}},$$

откуда находимъ $z = 177{,}17$.

По этой величинѣ z и принимая $\lambda = 0{,}0025$, изъ ур. 1), 2) и 3) получаемъ ширины каналовъ

$$D_1 = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \cdot 0{,}02^2 \cdot 1000}{200-177{,}17}} = 0{,}134\,;\; D_2 = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \cdot 0{,}01^2 \cdot 500}{180-177{,}17}} = 0{,}135;$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \cdot 0{,}03^2 \cdot 4000}{177{,}17-150}} = 0{,}201.$$

Приводя найденные размѣры къ обыкновенно встрѣчающимся въ практикѣ, получаемъ

$D_1 = 150$ миллим., $D_2 = 150$ миллим., $D = 225$ миллим.

По этому приблизительному способу соединительная линія отъ II къ *P* на длинѣ 4500 метр. имѣла бы паденіе въ 30 метр., или на одинъ погонный метръ паденіе составляло-бы $\alpha = 1:150 = 0{,}0067$. Для количества воды въ 30 литр. въ секунду по таблицѣ, приводимой ниже (см. отд. IV, гл. 10), находимъ значеніе величины $D = 207$ миллим. Ближайшій принятый въ практикѣ размѣръ составляетъ 225 миллим. Труба подобнаго размѣра пропускаетъ количество воды 30 литр. въ секунду при паденіи $\alpha = 1:225 = 0{,}0044$, откуда $z = 150 + 4000 \cdot 0{,}0044 = 167{—}78$ метр.

Соотвѣтственно этому паденія боковыхъ проводовъ будутъ:

$$\alpha_1 = \frac{200-167{,}78}{1000} = 0{,}0322,\; \alpha_2 = \frac{180-167\,78}{500} = 0{,}0244$$

и по указанной выше таблицѣ размѣры этихъ проводовъ будутъ: $D = 150$ миллим., $D_2 = 125$ миллим.

Если для величины D выберемъ ближайшее большее значеніе $D = 250$ миллим., то получимъ $\alpha = 0{,}0025$, $z = 150 + 4000 \cdot 0{,}0025 = 160$, а слѣд. $\alpha_1 = \frac{200 - 160}{1000} = 0{,}0400$, $\alpha_2 = \frac{180 - 160}{500} = 0{,}0400$, и соотвѣтственно съ этимъ въ круглыхъ числахъ будутъ $D_1 = 150$ миллим., $D_2 = 125$ милл.

Поэтому выберемъ $D = 225$ миллим., $D_1 = 150$ милл. и $D_2 = 125$ милл. и будемъ производить вычисленіе при $z = 167{,}78$ метр., $\alpha = 0{,}0044$, $\alpha_1 = 0{,}0322$ и $\alpha_2 = 0{,}0244$. Реализируя эти размѣры и паденія, мы легко увидимъ, что при увеличеніи истоковъ изъ ключей I и II, т. е. если они даютъ соотвѣтственно больше 20 и 10 литр. въ секунду, притокъ въ точку P получится уже другой. При $Q = Q_1 + Q_2$ и $\lambda = 0{,}0025$ получаются 3 уравненія:

$$1)\ 200 - z = \frac{0{,}0025 \cdot Q_1^2 \cdot 1000}{0{,}150^5};\quad 2)\ 180 - z = \frac{0{,}0025 \cdot Q_2^2 \cdot 500}{0{,}125^5}$$

$$3)\ z - 150 = \frac{0{,}0025\,(Q_1 + Q_2)^2 \cdot 4000}{0{,}225^5},$$

изъ которыхъ могутъ быть опредѣлены три неизвѣстныхъ: z, Q_1 и Q_2. Вычитая ур. 2) изъ ур. 1), получимъ:

$$Q^2_1 = 0{,}00061 + 1{,}24416\, Q_2^2.$$

Подставляя эту величину въ ур. 3) и принимая значеніе z, полученное изъ ур. 2), получимъ

$$30 = 40960 \cdot Q_2^2 + 17342\,(Q_2 + \sqrt{0{,}00061 + 1{,}24416 Q_2^2})^2.$$

Рѣшеніе этого уравненія даетъ $Q_2 = 0{,}011$ куб. метр. Затѣмъ изъ ур. 2) получается:

$$z = 180 - 40960 \cdot 0{,}011^2 = 175{,}04 \text{ метр.},$$

и изъ ур. 1):

$$200 - 175{,}04 = 24{,}96 = 32922\, Q_1^2,\ ;\ Q_1 = 0{,}027 \text{ куб. метр.}$$

Такимъ образомъ при высокомъ уровнѣ воды въ ключахъ къ резервуару P притекаетъ количество воды $Q_1 + Q_2 = 0{,}038$ куб. метр, если только помощью сливного приспособленія не ограничивается подъемъ воды въ C на высоту 167,78 метр. Сливаніе изъ камеры I въ камеру II въ данномъ случаѣ исключается.

Опредѣливши по приведенному способу вычисленія и по соображенію съ выясняемыми въ отд. IV гл. 17 колебаніями уровня воды въ резервуарахъ, линіи паденія или дѣйствительныя высоты напора для отдѣльныхъ участковъ проводовъ, можно по приведеннымъ ниже (см. отд. IV, гл. 8—16) формуламъ опредѣлить размѣры проводовъ произвольнаго не круглаго сѣченія.

Хотя изложенныя выше соображенія приведены въ предположеніи трубъ съ круглымъ сѣченіемъ, но они могутъ служить приблизительно также и для каналовъ, имѣющихъ другую профиль, подобную приведенной въ отд. IV гл. 9. Въ подобномъ случаѣ, какъ увидимъ ниже обозначая черезъ b наибольшую ширину мокрой профили, черезъ α паденіе на единицу длины и черезъ μ постоянный коэффиціентъ, можно вообще принять:

$$b = \sqrt[5]{\frac{Q^2}{\mu\,\alpha}} = \sqrt[5]{\frac{Q^2\,L}{\mu\,H}},$$

гдѣ $\mu = 2500 \cdot c^2 c_1$, а H и L означаютъ соотвѣтственно высоту напора и длину водовода. Но съ другой стороны стоимость погоннаго метра длины водовода бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше мокрый периметръ канала, а этотъ послѣдній въ свою очередь можетъ быть разсмотрѣнъ, какъ нѣкоторая функція b (см. отд. IV, гл. 0). Поэтому можно написать:

$$L = n\,(L_1 b_1 + L_2 b_2 + \ .\ .\ .),$$

и мы опять приходимъ къ тѣмъ же формуламъ, опредѣляющимъ условія наименьшей стоимости, какъ и выше.

Прежде всего необходимо узнать, какая изъ двухъ системъ водоводовъ оказывается наиболѣе цѣлесообразной; напорный-ли водоводъ, или открытый каналъ. Для напорныхъ водоводовъ употребляются обыкновенно чугунные трубо-

проводы, или вообще металлическія трубы, и въ весьма рѣдкихъ только случаяхъ гончарныя или цементныя трубы; стоимость трубъ опредѣляется очень легко. При открытыхъ-же водоводахъ опредѣленіе стоимости не такъ просто. Сперва необходимо рѣшить вопросъ о томъ, могутъ ли быть устроены совершенно открытые водоводы (открытыя канавы, каналы и проч.), или же они должны быть закрыты для задержанія всякихъ нечистотъ, дождя, снѣга, льда и проч., а также для сохраненія возможно равномѣрной въ нихъ температуры, такъ что только уровень воды въ нихъ будетъ находиться въ соприкосновеніи съ воздухомъ Рѣшеніе этого вопроса въ каждомъ данномъ случаѣ можетъ быть получено путемъ сравненія различныхъ способовъ рѣшенія и экономической ихъ выгоды, такъ что опытности инженера въ этихъ случаяхъ предоставляется обширное поле дѣятельности. Если, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, расходъ на устройство открытаго и закрытаго водовода выходитъ приблизительно одинаковымъ, то въ силу практическихъ соображеній для провода воды въ одно мѣсто изъ различныхъ водосборовъ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе первому изъ нихъ (см. ниже).

Какъ на преимущество открытыхъ водоводовъ, и главнымъ образомъ проведенныхъ по проходимымъ галлереямъ, укажемъ здѣсь на слѣдующія:

1. Открытые водоводы могутъ быть устроены изъ такихъ матеріаловъ, которые меньше подвержены химическимъ измѣненіямъ, нежели металлическія трубы; послѣднія постоянно подвержены болѣе или менѣе быстрому окисленію, особенно быстрому въ болотистой или соле-содержащей почвѣ. Поэтому вода, протекающая по открытому водоводу, постоянно остается болѣе чистой.

2. Открытый водоводъ всегда почти безъ исключенія болѣе доступенъ для чистки и осмотра, нежели закрытый водоводъ изъ металлическихъ трубъ.

3. Въ случаѣ провода воды съ содержаніемъ песку эти примѣси въ открытыхъ водоводахъ могутъ быть осаждаемы путемъ извѣстныхъ приспособленій, между тѣмъ какъ при закрытыхъ трубопроводахъ эти примѣси протекаютъ вмѣстѣ съ водой до выходного конца трубы, или осаждаются въ наиболѣе глубокомъ мѣстѣ водовода, образуя сопротивленіе движенію воды, преимущественно если не имѣется шлюзового спуска или въ случаѣ дурного присмотра за существующимъ спускомъ.

4. Во многихъ случаяхъ открытые водоводы могутъ быть устроены въ видѣ водяныхъ резервуаровъ и такимъ образомъ служить для распредѣленія воды безъ особыхъ затратъ на устройство бака.

5. Дѣйствіе открытаго водовода болѣе надежно, нежели напорнаго трубопровода, вслѣдствіе большей его доступности, а также и вслѣдствіе меньшаго давленія воды на стѣнки канала.

6. Въ открытомъ водоводѣ можно примѣнять паденіе даже въ 1:10000 безъ вреда для качествъ протекающей по немъ воды [1]), между тѣмъ какъ въ чугунныхъ и вообще металлическихъ трубахъ, для предупрежденія быстраго окисленія, не слѣдуетъ допускать скорости меньше 0,4 метр. въ секунду.

7. Относительно открытыхъ водоводовъ опытъ частью еще нынѣ существующихъ римскихъ акведуковъ показываетъ намъ, что при извѣстномъ уходѣ они могутъ просуществовать тысячи лѣтъ, между тѣмъ какъ относительно долговѣчности напорныхъ водоводовъ изъ чугуна, желѣза, стали и проч. еще нѣтъ никакихъ обстоятельныхъ данныхъ, и на основаніи различныхъ соображеній нужно предполагать, что долговѣчность ихъ довольно ограничена.

Основныя положенія, которыми необходимо руководствоваться при устройствѣ напорныхъ водоводовъ, приведены нами ниже (см. отд. IV, гл. 13). Весьма важно обращать вниманіе на предупрежденіе пониженія давленія въ водоводѣ ниже атмосфернаго, и въ случаѣ обратныхъ паденій въ продольной профили необходимо принять мѣры для выпуска воздуха изъ высшей точки водовода.

[1]) Belgrand. Les travaux souterrains de Paris. 1875. II стр. 7.

Открытый водоводъ выгоднѣе всего устраивается тамъ, гдѣ линія паденія на всемъ протяженіи расположена въ выемкѣ. Въ тѣхъ случаяхъ преимущественно, когда линія паденія расположена въ выемкѣ значительной глубины, открытый водоводъ всегда предпочитается напорному, такъ какъ всякія неплотности уложеннаго на значительной глубинѣ трубопровода не скоро обнаруживаются на поверхности земли. Въ этомъ отношеніи наилучшіе результаты получаются отъ проходимыхъ открытыхъ водоводовъ или галлерей, въ которыхъ случайныя поврежденія легко обнаруживаются и исправляются, между тѣмъ какъ отысканіе поврежденій въ глубоко уложенномъ трубопроводѣ чрезвычайно затруднительно и дорого. Если, наоборотъ, линія паденія расположена выше поверхности земли, то устройство открытаго водовода неизбѣжно влечетъ за собой устройство подъ нимъ нижняго строенія, которое обыкновенно должно прерываться для расположенныхъ подъ нимъ дорогъ, рѣчекъ и т. д.; оно не можетъ быть замѣнено земляной плотиной, такъ какъ въ ней неизбѣжны осѣданія. Такимъ образомъ устраиваются переходы черезъ долины, подобные устроеннымъ древними римлянами, и по этимъ переходамъ водопроводные желоба направляются къ мѣсту расхода. Само собой разумѣется, что подобныя сооруженія, достигающія болѣе или менѣе значительной высоты, оказываются очень дорогими; для полученія изящнаго внѣшняго вида наружныя видимыя поверхности требуютъ чистой тщательной отдѣлки, которая обходится довольно дорого, такъ какъ эти поверхности сравнительно очень велики относительно общаго кубическаго содержанія кладки. Въ гл. 4 мы еще вернемся къ этому предмету.

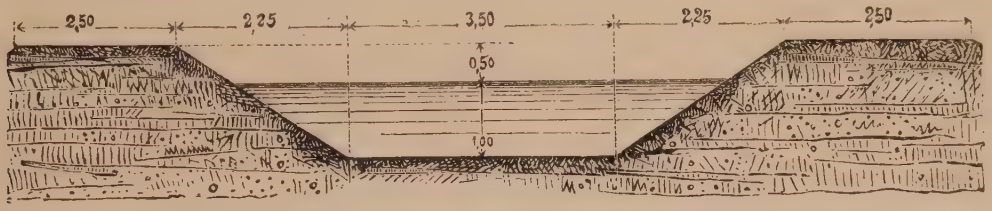
Само собою разумѣется, что при выборѣ системы водовода рѣшающее значеніе имѣетъ стоимость сооруженія; но при этомъ въ зависимости отъ условій въ каждомъ данномъ случаѣ необходимо еще опредѣлить, будетъ ли наименьшей стоимости водоводъ достаточно совершеннымъ въ техническомъ отношеніи, т. е. удовлетворяетъ ли онъ во всѣхъ указанныхъ отношеніяхъ цѣлямъ водоснабженія. Къ этому считаемъ нелишнимъ присовокупить, что открытые водоводы, въ которыхъ уровень воды соприкасается съ атмосферой, совершенно непримѣнимы или же примѣняются весьма рѣдко для провода чистой воды. Ихъ примѣненіе ограничивается тѣми случаями, въ которыхъ проведенная по нимъ вода до поступленія въ распредѣлительную сѣть подвергается искусственной фильтраціи, или въ которыхъ для данныхъ цѣлей вообще не требуется совершенно чистая вода.

Для правильнаго въ техническомъ отношеніи опредѣленія работоспособности водовода необходимо принять въ соображеніе постепенно образующіеся на стѣнкахъ осадки, допускаемое до извѣстныхъ предѣловъ осажденіе мути (изъ грязной воды) на подошвѣ канала, сопротивленіе движенію отъ растительности на откосахъ канала и т. д. Подобно тому, какъ въ трубопроводахъ осадки имѣютъ тѣмъ большее вліяніе, чѣмъ меньше ихъ сѣченіе, точно также и въ открытыхъ каналахъ вліяніе осадковъ будетъ тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ меньше бываетъ получаемая вычисленіемъ поперечная профиль канала.

Между открытыми каналами слѣдуетъ различать: просто вырытыя въ землѣ канавы съ облицованными откосами и подошвой и каменные каналы; въ исключительныхъ случаяхъ примѣняются каналы съ деревянной обшивкой, желѣзные, каменные, системы Монье и проч.

Вырытыя въ землѣ канавы безъ облицовки откосовъ и подошвы могутъ быть рекомендованы въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется пропускать значительныя количества воды съ небольшой скоростью, причемъ допускаются потери воды во время ея прохода по канавѣ, и не придается серьезнаго значенія измѣненію температуры воды и загрязненію ея отъ дождей

и проч. Въ подобныхъ канавахъ съ необлицованными откосами скорость воды можетъ быть допущена до 0,70 метр. въ секунду. Для предупрежденія вреднаго вліянія на теченіе воды выростающей на откосахъ канавы травы или случайныхъ отложеній, обваловъ и проч. необходимо принять мокрый периметръ канавы нѣсколько больше полученнаго вычисленіемъ. Частыя чистки канавы неизбѣжны. Количество просачивающейся въ стѣнки канавы воды зависитъ отъ свойствъ почвы; потери отъ испаренія бываютъ весьма значительны, преимущественно въ жаркомъ климатѣ, и тѣмъ больше, чѣмъ меньше глубина воды. При проводѣ значительныхъ количествъ воды, т. е. если она постоянно имѣется въ изобиліи въ мѣстѣ ея добыванія, и проведеніи ея на далекія разстоянія всѣ указанныя неудобства исчезаютъ по отношенію къ дешевизнѣ простого земляного канала въ сравненіи съ каменнымъ или земляннымъ съ облицованными откосами и подошвой.



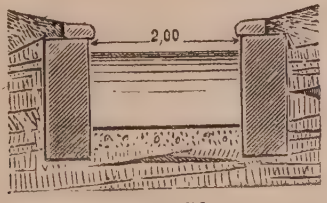
Фиг. 247. Поперечное сѣченіе верхней части Уркскаго канала.

Показанный на ф. 247 каналъ соотвѣтствуетъ профили Уркскаго канала Парижскаго водоснабженія, которая можетъ считаться типичнымъ при подобныхъ условіяхъ. Подобной же системы каналъ устроенъ въ Лондонѣ для провода воды изъ Нью-Ривера. Всѣ эти каналы характеризуются незначительнымъ паденіемъ уровня, которое, напр., въ Уркскомъ каналѣ составляетъ мѣстами 0,0000625, въ Нью-Риверѣ 0,0000474, въ Кенигсбергскомъ водоснабженіи 0,00014, въ питательныхъ канавахъ судоходныхъ каналовъ обыкновенно отъ 0,0001 до 0,0005 на единицу длины.

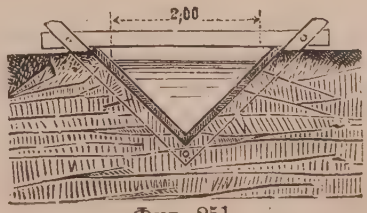
Фиг. 248.

Фиг. 249.

Если средняя скорость воды въ подобныхъ каналахъ превышаетъ 0,70 метр. въ секунду, то откосы и подошва канала, образуемые землей, смываются. Для уничтоженія этого смыва оказывается полезной облицовка откосовъ и подошвы канавы. Въ большинствѣ случаевъ довольствуются насыпкой на дно канавы слоя камня въ кускахъ величиной съ кулакъ и больше и облицовкой откосовъ, какъ показано на фиг. 248. Подобный способъ примѣнимъ



Фиг. 250.



Фиг. 251.

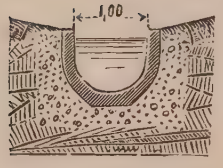
преимущественно при широкихъ канавахъ. Но лучше, конечно, произвести облицовку какъ подошвы, такъ и откосовъ, какъ показано на фиг. 249. При подобной системѣ можно примѣнять болѣе крутые откосы и болѣе раціональныя профили—большія глубины воды при малыхъ ширинахъ водяныхъ поверхностей. Въ облицованныхъ желобахъ можно допускать скорость воды въ 1,2 метр.

Если вопросъ идетъ о пріобрѣтеніи возможно меньшей площади земли для устройства канала (какъ напримѣръ при дороговизнѣ земель, вблизи большихъ городовъ и проч.), то стѣнки канала выводятся изъ каменной кладки и совершенно вертикально (фиг. 250). Подошва въ такомъ случаѣ должна быть насыпана слоемъ гравія или же облицована. Въ послѣднемъ случаѣ скорость можетъ быть безопасно допущена въ 1,5 до 2-хъ метр., чѣмъ достигается относительно небольшая профиль канала, конечно, при условіи, что паденіе канала допускаетъ упомянутую скорость въ немъ воды.

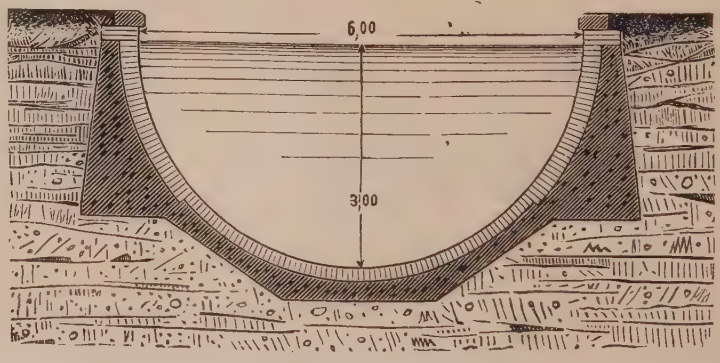
Въ сооруженіяхъ, назначенныхъ для дѣйствія въ теченіе короткаго времени (временныхъ водопроводахъ), откосы облицовываются деревомъ. Въ подобныхъ случаяхъ преимущественно примѣнима изображенная на фиг. 251 профиль, въ которой наклоненные подъ угломъ 45° къ горизонту откосы пересѣкаются между собой у подошвы подъ прямымъ угломъ. Эта профиль канала весьма удобна по легкости и дешевизнѣ устройства.

Очевидно, что въ описанныхъ каналахъ, даже если они облицованы, просачиваніе воды не можетъ быть окончательно устранено. Это обстоятельство дѣлается въ особенности чувствительнымъ въ томъ случаѣ, когда канава или желобъ устроенъ въ весьма рыхлой почвѣ, въ которой горизонтъ грунтовыхъ водъ лежитъ глубоко подъ подошвой канала. Въ подобномъ случаѣ для временныхъ сооруженій изображенный на фиг. 250 каналъ можетъ быть сдѣланъ водонепроницаемымъ путемъ устройства стѣнокъ или откосовъ изъ брусьевъ съ гребнями, впущенными въ шпунты (шпунтовой облицовки).

Въ тѣхъ случаяхъ, когда отъ каналовъ требуется долговѣчность и прочность, примѣняются исключительно только желоба, устроенные изъ бетонной или каменной кладки. Само собой разумѣется, эти каналы не имѣютъ вышеуказанныхъ недостатковъ; стѣнки ихъ водонепроницаемы и препятствуютъ выростанію на нихъ травы; они допускаютъ значительныя скорости теченія воды, а слѣд. въ нихъ предупреждается осажденіе ила и грязи; при всемъ томъ они имѣютъ сравнительно небольшія профили относительно протекающихъ по нимъ количествъ воды. Весьма удобны для этихъ цѣлей хорошо изготовленные бетонные каналы шир. до 1 метр. какъ показано на фиг. 252; они изготовляются на заводахъ въ видѣ отдѣльныхъ кусковъ опре-



Бетонный каналъ.
Фиг. 252.



Фиг. 253.

дѣленной длины и въ такомъ видѣ доставляются къ мѣсту работы, гдѣ они укладываются въ постель изъ гравія или хряща, а швы между ними задѣлываются цементнымъ растворомъ. Укладка такихъ каналовъ можетъ быть произведена весьма быстро, и ее можно рекомендовать въ случаѣ надежнаго грунта и небольшихъ скоростей воды. Для большихъ сооруженій и скоростей до 2,5 метр. примѣняются каналы съ изображенной на фиг. 253 полукруглой профилью, образуемой изъ кирпичной облицовки, уложенной въ бетонной подстилкѣ. Въ Англіи подобныя прифили каналовъ находятъ себѣ обширное примѣненіе.

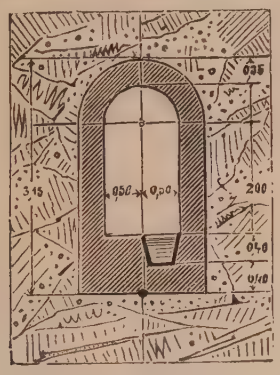
Само собой разумѣется, что вслѣдствіе отсутствія верхней покрышки всѣ эти каналы подвержены внѣшнему загрязненію отъ пыли, дождей, насѣкомыхъ и проч. такъ же, какъ и описанныя выше земляныя канавы; кромѣ того, на протекающую по этимъ каналамъ воду весьма неблагопріятно отражается вліяніе измѣненій температуры. Послѣднія въ мѣстностяхъ съ холоднымъ климатомъ вызываютъ поврежденія стѣнокъ каналовъ на уровнѣ стоянія воды вслѣдствіе образованія льду. Впрочемъ, расходы на устройство каменныхъ каналовъ немногимъ раз-

нятся отъ расходовъ по устройству перекрытыхъ каналовъ, обладающихъ весьма многими преимуществами.

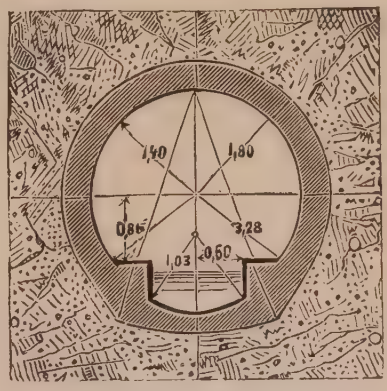
Во всѣхъ открытыхъ сверху каналахъ, для возможности ихъ чистки, сколки льда, исправленій и проч., вдоль нихъ долженъ быть устроенъ проходъ; кромѣ того, на извѣстныхъ разстояніяхъ каналы должны быть перекрыты мостами. Для отвода дождевыхъ водъ въ выемкахъ должны быть устроены боковыя отводныя канавы.

Открытые желоба въ проходимыхъ галлереяхъ подъ покрытіями или сводами дороже по своему устройству, нежели описанные до сихъ поръ, но заслуживаютъ безусловнаго предпочтенія для водоснабженія, когда вопросъ идетъ о проводѣ чистой воды. Они совершенно предохранены отъ внѣшнихъ загрязненій и поддерживаютъ постоянную температуру текущей по нимъ воды; оба эти обстоятельства имѣютъ весьма важное значеніе при проводѣ чистой ключевой (грунтовой) воды. Поэтому водоводы подобнаго рода примѣняются въ большинствѣ случаевъ, и между этими каналами слѣдуетъ различать большіе и средніе проходимые и небольшіе проводные каналы.

Каналы въ проходимыхъ галлереяхъ. Несомнѣнно большимъ преимуществомъ является такое устройство, при которомъ водопроводный каналъ помощью проходимой галлереи сдѣланъ настолько доступнымъ, что его во всякое время можно осматривать во всѣхъ его частяхъ, а также и чистить или исправлять въ случаѣ надобности. Подобныя галлереи примѣняются для каналовъ небольшого поперечнаго сѣченія, уложенныхъ на значительной глубинѣ подъ поверхностью земли (какъ напр. штольни въ горныхъ хребтахъ); но устройство подобныхъ каналовъ сильно увеличиваетъ расходы по проведенію воды, такъ что они примѣняются только въ указанныхъ случаяхъ или еще тамъ, гдѣ откопка въ какомъ-либо мѣстѣ для доступа къ каналу съ цѣлью его исправленія по какимъ-либо причинамъ оказывается невозможной, какъ напр. при проводѣ каналовъ подъ домами, застроенными площадями, подъ рѣками и проч.



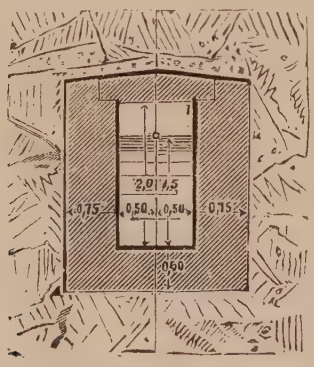
Фиг. 254. Акведукъ.



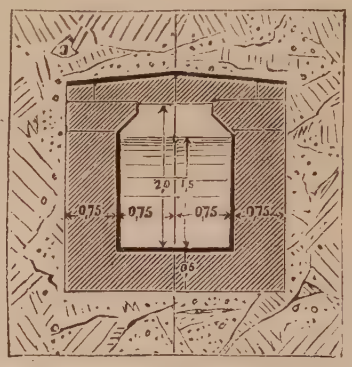
Фиг. 255. Галлерея на улицѣ.

Устройство подобныхъ галлерей приведено нами выше (см. отд. II, фиг. 92 и 103); наименьшимъ поперечнымъ сѣченіемъ можетъ считаться принятая въ Баденской штольнѣ ширина въ 0,7 метр. при высотѣ 1,6 метр. Во Франціи подобныя галлереи устраивались очень часто, преимущественно въ прежнее время; такъ напр. на ф. 254 изображена галлерея акведука въ Аркюелѣ шир. 1 метръ и вышиной 2 метр. съ банкетомъ по одной сторонѣ. Подобнаго устройства, но снабженный двумя банкетами, акведукъ въ Монпелье имѣетъ шир. 1,62 и высоту въ 2,65 метр. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ подобныя галлереи служатъ для помѣщенія закрытыхъ проводовъ, кабелей и проч., и тогда поперечное сѣченіе галлереи въ свѣту должно имѣть еще болѣе значительные размѣры. На фиг. 255 показано подобное поперечное сѣченіе галлереи съ двумя банкетами, устроенной въ Парижѣ подъ улицей Rue des ecoles. Помимо желоба для протока воды эта галлерея служитъ также для расположенія въ ней напорныхъ трубопроводовъ и газопроводовъ и снабжена желѣзной дорогой, по которой изъ галлереи отвозятся нагруженные въ вагончикахъ различные осадки, получаемые при чисткѣ водоводнаго желоба. По желобу въ данномъ случаѣ протекаетъ грязная (сточная) вода, хотя эта же профиль канала можетъ служить и для провода чистой воды для цѣлей водоснабженія.

Большіе и средніе проходимые каналы. Если требуемая для прохода извѣстнаго количества воды поперечная профиль канала сама по себѣ имѣетъ такіе размѣры, что послѣ опорожненія отъ воды черезъ каналъ можно свободно проходить и пролѣзать, и если подобное опоражниваніе канала временами допускается (для чистки или исправленій), то оказывается раціональнѣе отказаться отъ системы галлерей, утилизируя всю профиль канала для провода воды. Въ подобномъ родѣ устраивается большая часть водопроводныхъ каналовъ въ послѣднее время. Видъ или очертаніе профили въ сильной степени зависитъ отъ употребляемаго строительнаго матеріала и отъ свойствъ грунта, на которомъ устраивается каналъ.

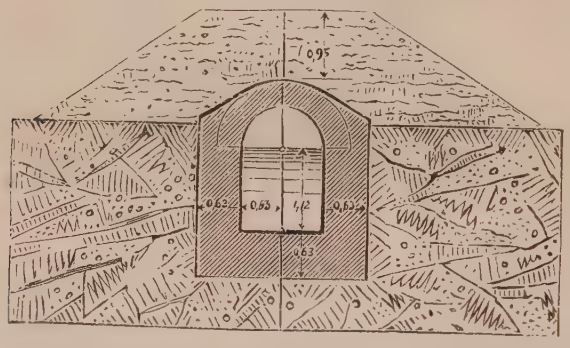


Фиг. 256.

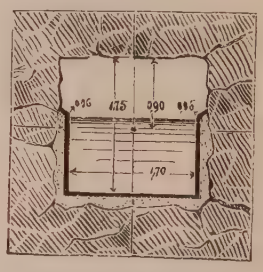


Фиг. 257.

При обыкновенной кладкѣ изъ щебня на гидравлическомъ растворѣ наиболѣе подходящими будутъ прямоугольныя профили каналовъ, удобно устраиваемыхъ въ обыкновенныхъ вырытыхъ рвахъ. На фиг. 256 и 257 показаны подобныя профили. Въ обоихъ этихъ случаяхъ перекрытіе канала производится каменными плитами; на фиг. 256 перекрывающая плита лежитъ свободно на обрѣзахъ стѣнъ, а на фиг. 257 она поддерживается еще особыми выступами или кронштейнами. Толщина стѣнокъ должна быть сдѣлана довольно большой ввиду бокового давленія на нихъ земли и ввиду рыхлости и пористости обыкновенной бутовой кладки. Кладка



Фиг. 258. Штольня Вѣнскаго водопровода изъ высокихъ ключей.



Фиг. 259. Штольня Вѣнскаго водопровода изъ высокихъ ключей.

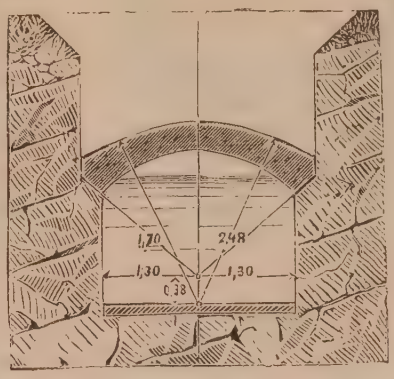
снаружи оштукатуривается слоемъ обыкновенной штукатурки, а внутри слоемъ цемента, для чего швы выбиваются на глубину 6 сантим., и обнаженныя поверхности кладки тщательно смываются водой и щетками. Простота устройства и дешевая цѣна обыкновенной бутовой кладки во многихъ случаяхъ даютъ этимъ профилямъ нѣкоторыя преимущества предъ принятыми въ послѣднее время круглыми и овальными профилями. Въ старыхъ акведукахъ почти исключительно употреблялись прямоугольныя профили.

При трудности полученія въ данномъ мѣстѣ каменныхъ плитъ для перекрыванія, или въ случаѣ сильной ихъ дороговизны, прямоугольная профиль перекрывается сводомъ, какъ показано на фиг. 258. Подобная профиль примѣнена, напр., въ Вѣнскомъ водопроводѣ изъ вы-

сокихъ ключей (для провода воды отъ колодца Кайзербрунненъ до Терница). Какъ своды, такъ и каналы выложены изъ бутовой кладки на гидравлическомъ растворѣ; своды имѣютъ толщину въ 0,32 метр. и снабжены слоемъ цементной штукатурки. Поверхности прикосновенія стѣнокъ съ водой тоже оштукатурены цементомъ (фиг. 258).

Примѣненіе прямоугольныхъ профилей каналовъ особенно умѣстно при употребленіи ихъ въ горномъ дѣлѣ, при устройствѣ такъ называемыхъ **водяныхъ штоленъ**. При этомъ горная порода не должна быть сыпучей, т. е. не оказать давленія на стѣнки канала, а должна состоять изъ плотныхъ породъ. Въ этомъ случаѣ стѣнки канала и подошва его, или одна только подошва, оштукатуриваются слоемъ раствора, или же сперва облицовываются каменной кладкой, которая затѣмъ оштукатуривается слоемъ раствора. Такъ, напр., въ Вѣнскомъ водопроводѣ изъ высокихъ ключей прямоугольныя профили каналовъ примѣнены во всѣхъ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ водяныя штольни проведены въ плотныхъ горныхъ породахъ. Здѣсь сперва выравнивались неровности на внутренней поверхности стѣнокъ канала (какъ на фиг. 259) помощью раствора изъ крупнаго песку и гидравлической извести въ пропорціи 1:2, а на полученныя такимъ образомъ плоскости наносился слой цементной штукатурки толщ. около 6 сантим. Если вслѣдствіе свойства породъ въ ней на большомъ протяженіи замѣчаются щели и трещины, то вмѣсто выравниванія стѣнокъ помощью раствора онѣ облицовываются каменной кладкой.

Фиг. 260. Штольня Вѣнскаго водопровода изъ высокихъ ключей.



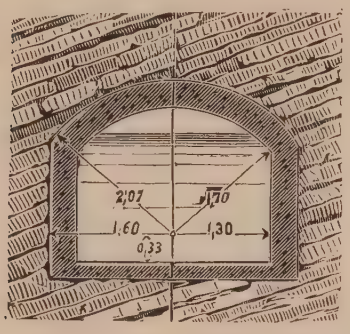
Фиг. 261. Новый Манчестерскій каналъ (стѣнка въ скалѣ).

Если характеръ горной породы таковъ, что не приходится опасаться боковыхъ ея сдвиговъ, но при этомъ необходимо укрѣпить перекрытіе, то штольня устраивается изъ обтесанныхъ камней, какъ показано на фиг. 260, а подошва покрывается слоемъ бетона.

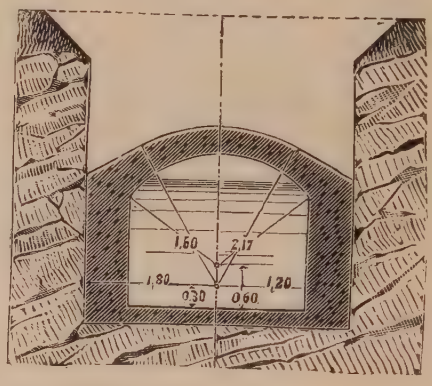
Новый водопроводный каналъ въ Манчестерѣ тоже устроенъ съ прямоугольной профилью. На фиг. 261, 262 и 263 изображены нѣкоторыя поперечныя сѣченія этого канала. Пространство для канала частью было выбрано въ плотной породѣ въ видѣ штольни; въ зависимости отъ петрографической конституціи пройденныхъ породъ, подошва канала, или подошва и стѣнки, или же наконецъ подошва, стѣнки и покрытіе облицованы кирпичемъ и оштукатурены цементомъ. Фиг. 261 изображаетъ профиль канала для выемки въ непроницаемой плотной породѣ, причемъ стѣнки не оштукатурены. На фиг. 262 показана нормальная профиль штольни съ облицовкой покрытія, подошвы и стѣнокъ. Облицовка произведена частью бетономъ и частью обыкновенной бутовой кладкой. Если порода, вынимаемая изъ канавы для штольни представляетъ собой породу рыхлую, или если мы имѣемъ дѣло съ обыкновенной почвой то примѣняется профиль, изображенная на фиг. 263 съ толщиной опорныхъ стѣнъ около 60 сантим. Величина водяного поперечнаго сѣченія измѣняется соотвѣтственно различнымъ падеміямъ; послѣднія въ среднемъ составляютъ около 1:3125, и черезъ каналъ протекаетъ около 2½—3 куб. метр. воды въ секунду.

Въ сыпучей или давящей породѣ прямоугольная профиль канала оказывается неудовлетворительной. Въ этомъ случаѣ каналы должны быть устроены со сводчатыми покрытіями, боковыми стѣнками и подошвами; устройство каналовъ производится самыми разнообразными способами и изъ различнаго рода строительныхъ матеріаловъ. При этомъ всѣ стремленія должны

быть направлены къ тому, чтобы найти ту профиль, которая при наименьшей начальной стоимости ея устройства могла-бы пропускать возможныя въ нѣкоторыхъ случаяхъ наиболѣе значительныя количества воды, и которая гарантировала-бы прочность и долговѣчность сооруженія. Заранѣе, т. е. чисто теоретическимъ путемъ, этотъ вопросъ не можетъ быть разрѣшенъ; весьма много здѣсь зависитъ отъ свойствъ почвы, отъ имѣющихся въ распоряженіи строительныхъ матеріаловъ, отъ величины рабочей платы и друг. разнаго рода побочныхъ обстоятельствъ. Теоретическое разсмотрѣніе этого вопроса приведено ниже (см. отд. IV, гл. 9); здѣсь же приведемъ нѣкоторыя наиболѣе часто примѣняемыя въ практикѣ профили сѣченія каналовъ и укажемъ на преимущества и недостатки отдѣльныхъ видовъ профилей.

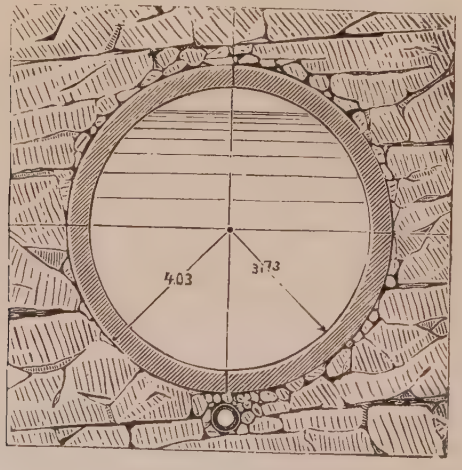


Фиг. 262. Новый Манчестерскій каналъ (Штольня).

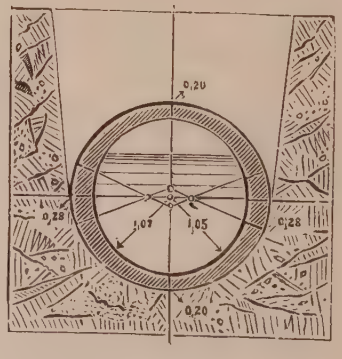


Фиг. 263. Новый Манчестерскій каналъ (выемка въ чашкѣ).

Наиболѣе широкаго примѣненія въ послѣднее время вполнѣ справедливо заслужило круглое поперечное сѣченіе, въ которомъ, какъ увидимъ ниже (отд. IV, гл. 9), углу наполненія въ 257½° соотвѣтствуетъ наибольшая скорость теченія, а углу наполненія въ 308° соотвѣтствуетъ наибольшее количество протекающей черезъ сѣченіе воды. Профиль этого сѣченія вмѣстѣ съ тѣмъ обладаетъ большою сопротивляемостью внѣшнимъ усиліямъ, и при одной и той же прочности строительныхъ матеріаловъ для этого сѣченія требуется наименьшая толщина стѣнокъ канала. Въ водопроводномъ каналѣ отъ Croton для водоснабженія Нью-Іорка примѣнена подобная профиль поперечнаго сѣченія съ указанными на фиг. 264 размѣрами.



Фиг. 264. Кротонскій водопроводъ для Нью-Іорка.



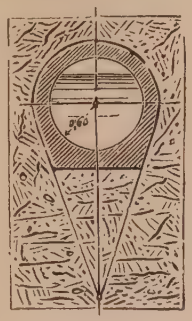
Фиг. 265. Проводной каналъ для Парижа.

Съ той же толщиной стѣнокъ, но съ меньшимъ діаметромъ (2,74 метр.), устроенъ водопроводъ отъ Potomac къ Вашингтону. Точно также водопроводный каналъ для новаго водоснабженія Неаполя на протяженіи штоленъ Rumarano имѣетъ круглое сѣченіе (діам. 2 метр.). Во всѣхъ упомянутыхъ случаяхъ стѣнки каналовъ сдѣланы изъ каменной кладки, а внутренняя поверхность канала оштукатурена слоемъ портландскаго цемента.

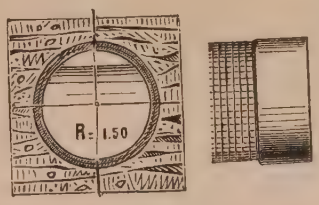
Служащій для водоснабженія Парижа водопроводный каналъ отъ Vanne длиной 136 километр. также имѣетъ круглое сѣченіе діам. отъ 2 до 2,10 метр.; поперечная профиль этого канала показана на фиг. 265. Въ этой профили, какъ видно изъ чертежа, толщина опорныхъ частей стѣнокъ сдѣлана больше толщины подошвы и верхней части; въ зависимости отъ имѣвшихся подъ руками строительныхъ матеріаловъ стѣнки канала устроены изъ бутовой кладки на цементномъ растворѣ или изъ бетона. Весь каналъ снабженъ слоемъ цементной штукатурки толщ. 2 сантим. до высоты наивысшаго уровня воды въ каналѣ.

Описанныя до сихъ поръ круглыя профили имѣютъ высоту въ 2 метра и болѣе, такъ что послѣ ихъ опоражниванія они проходимы и легко могутъ быть исправляемы; впрочемъ каналы бываютъ проходимы и при высотѣ въ 1,8 метр. Если же внутренній размѣръ (въ свѣту) канала меньше 1,8 метр., то прохожденіе черезъ него становится затруднительнымъ, и это обстоятельство иногда служитъ причиной перехода отъ круглаго сѣченія къ овальному. Впрочемъ, проходимость канала не всегда является безусловно необходимымъ требованіемъ, и во многихъ случаяхъ ограничиваются размѣромъ канала, при которомъ черезъ него возможно только пролѣзть (приблизительно отъ 0,50 метр. и больше). Для сооруженій подобнаго рода обыкновенно примѣняются цементныя трубы, которыя во Франціи и другихъ мѣстахъ изго-

Фиг. 266. Франц. цементныя трубы (Ницца).



Фиг. 267.



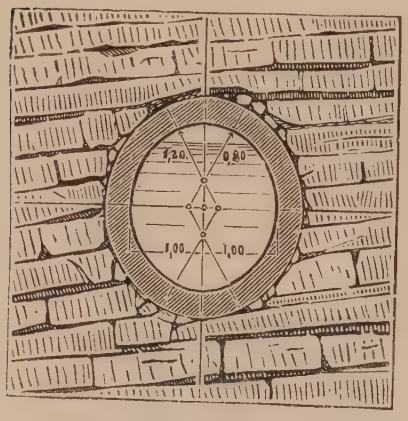
Фиг. 268. Трубы Монье.

товляются показаннаго на фиг. 266 сѣченія, а въ Германіи почти исключительно примѣняются цементныя трубы съ сѣченіемъ, показаннымъ на фиг. 267. Толщины стѣнокъ этихъ трубъ обусловливается внутреннимъ или внѣшнимъ давленіемъ и во многихъ случаяхъ дѣлается весьма незначительной. Но какъ показалъ опытъ, даже наилучшія цементныя трубы оказываются неудовлетворительными, если только средняя скорость воды превышаетъ 1 метръ въ секунду; поэтому примѣненіе этихъ трубъ требуетъ большой предосторожности.

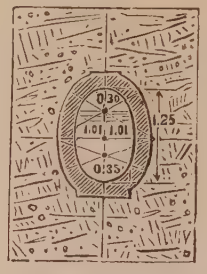
Часто примѣняемая въ послѣднее время система трубъ, а именно системы Монье, показана на фиг. 268. Трубы Монье состоятъ изъ проволочной ткани, покрытой цементнымъ растворомъ, такъ что даже при весьма небольшой толщинѣ стѣнокъ эти трубы обладаютъ большой прочностью. Впрочемъ, относительно долговѣчности этихъ трубъ при постоянномъ ихъ соприкосновеніи съ водой до настоящаго времени никакихъ опытныхъ данныхъ не имѣется. Во всякомъ случаѣ при примѣненіи этихъ трубъ необходимо обезпечиться гарантіей отъ завода, которымъ онѣ изготовляются.

При переходѣ отъ круглаго сѣченія къ овальному всегда является необходимость въ увеличеніи толщины боковыхъ стѣнокъ. Выборъ подобной профили можетъ быть обусловленъ различными обстоятельствами. Выше мы упомянули, что увеличеніе высоты сѣченія канала можетъ быть вызвано желаніемъ сдѣлать каналъ проходимымъ. Часто, преимущественно при заложеніи штоленъ и при очень глубокихъ каналахъ, стараются достигнуть сбереженія въ стоимости путемъ уменьшенія ширины штольни или ширины канавы, между тѣмъ какъ высота можетъ быть увеличена безъ особыхъ на то расходовъ, и т. д. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ переходъ отъ круглаго сѣченія къ сплюснутому овальному (ср. фиг. 272) обусловливается необходимостью сохраненія извѣстной высоты канала, какъ напр. при проводѣ его подъ ручьемъ, улицей, желѣзной дорогой и проч. Въ этихъ случаяхъ оказывается неизбѣжнымъ усиленіе боковыхъ опорныхъ стѣнокъ, какъ это показано на фиг. 272.

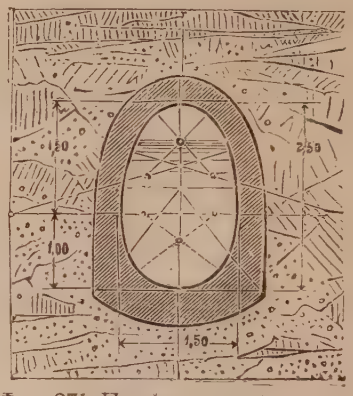
Овальное сѣченіе водопроводнаго канала обыкновенно устраивается такъ, что большая окружность профили располагается внизу, а меньшая—вверху сѣченія. Въ подобномъ сѣченіи при одинаковой высотѣ наполненія канала получается большая площадь поперечнаго сѣченія въ немъ водяной струи безъ нарушенія его проходимости. На фиг. 269—274 показаны различныя принятыя въ практикѣ профили. Считаемъ нелишнимъ при этомъ присовокупить, что при одинаковомъ мокромъ поперечномъ сѣченіи и одинаковомъ паденіи овальное сѣченіе не пропускаетъ большаго количества воды, нежели круглое сѣченіе, въ чемъ легко убѣдиться путемъ вычисленія; поэтому безъ особыхъ основаній не слѣдуетъ выбирать овальное сѣченіе, если устройство круглаго или другого сѣченія канала вызываетъ меньшіе расходы.



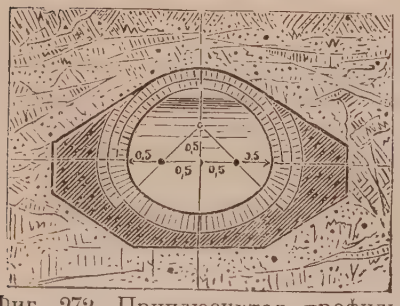
Фиг. 269. Профиль штольни водопровода города Неаполя.



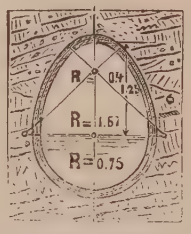
Фиг. 270. Профиль главнаго канала водопровода города Ниццы. Элиптическія, овальныя и приплюснутыя профили каналовъ.



Фиг. 271. Профиль въ водопроводѣ гор. Лилля.



Фиг. 272. Приплюснутая профиль

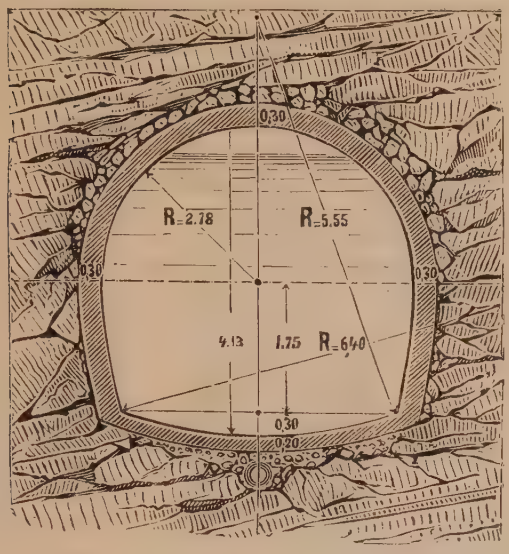


Фиг. 273. Профиль Монье.

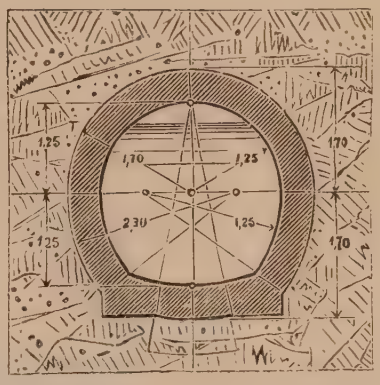
Фиг. 274. Профиль каналовъ отъ Дюи (Парижъ).

Если водопроводные каналы проводятся въ видѣ штоленъ черезъ рыхлыя или давящія породы, то имъ придается профиль, обыкновенно принятая для туннелей въ подобныхъ породахъ. Подобныя профили показаны на фиг. 275—277. Помимо выгодной профили штоленъ, въ нихъ достигается значительное поперечное сѣченіе водяной струи при относительно выгодномъ радіусѣ профили, а также хорошая, надежная связь въ каменной кладкѣ. Подобныя профили во многихъ случаяхъ заслуживаютъ предпочтенія предъ круглыми и овальными. Если каналы должны имѣть болѣе значительную высоту въ сравненіи съ ихъ шириной, какъ это имѣетъ мѣсто, напр., въ тѣхъ случаяхъ, когда при относительно небольшомъ количествѣ протекающей воды каналъ долженъ оставаться проходимымъ, то имъ придается одна изъ профилей, изображенныхъ на фиг. 278, 279 и 280. Фиг. 278 изображаетъ поперечное сѣченіе, примѣненное въ водопроводныхъ каналахъ Вѣнскаго водоснабженія изъ высокихъ ключей, причемъ каналъ въ рыхлой почвѣ выкладывается изъ тесаныхъ камней. На фиг. 279 показанъ устроенный изъ цементнаго бетона водопроводный каналъ для водоснабженія Гренобля. Фиг. 280 изображаетъ устроенный въ Штуттгартѣ водоотводный каналъ изъ озеръ въ Вильдпаркѣ. Этотъ каналъ уст-

роенъ изъ кирпича на цементномъ растворѣ, а пространство между профилью канала и стѣнками штольни заполнено бетономъ.

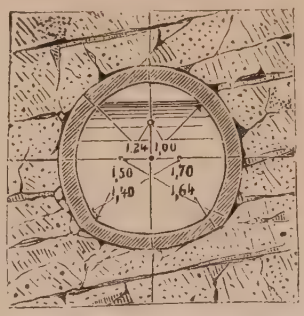


Фиг. 275. Кротонскій каналъ для водоснабженія Нью-Іорка. Штольня.



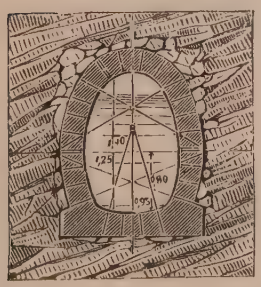
Фиг. 276. Отводный каналъ отъ Loch Katrine (Глазго).

Въ послѣднее время для пропусканія большихъ количествъ воды каналу придается видъ показанный на фиг. 281 съ широкимъ основаніемъ, причемъ подобные каналы устраиваются изъ бетона или по системѣ Монье, какъ показано на фиг. 282. Въ обѣихъ этихъ профиляхъ мокрое поперечное сѣченіе имѣетъ приблизительно одинаковую величину. Эти профили преимущественно могутъ служить при проведеніи каналовъ подъ полотнами желѣзныхъ дорогъ, подъ проѣзжими дорогами, подъ зданіями и проч., если только возможно сдѣлать высоту профили въ свѣту больше половины ширины подошвы. Эта профиль выгодна также и въ экономическомъ отношеніи, весьма удобна для постройки, и вслѣдствіе широкой подошвы или базиса она можетъ быть примѣнена и при относительно слабомъ грунтѣ. На основаніи практическаго опыта можно совѣтовать при примѣненіи этой профили не отступать отъ горизонтальнаго базиса, такъ какъ закругленныя подошвы менѣе надежны.

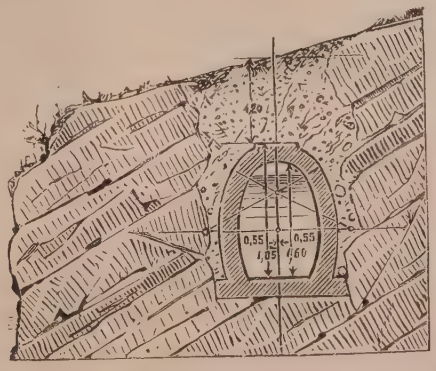


Фиг. 277. Отводный каналъ отъ Ванъ (Парижъ) Штольня въ песчаникѣ въ Фонтенебло.

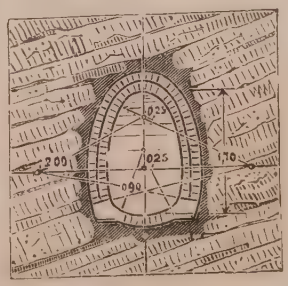
Подъ дорогами черезъ пруды Wiekau-Warger водоснабженія города Кенигсберга устроены водопропускные каналы системы Монье, какъ показано на фиг. 283, причемъ они безо-



Фиг. 278. Проводный каналъ Вѣнскаго водопровода изъ высокихъ ключей.



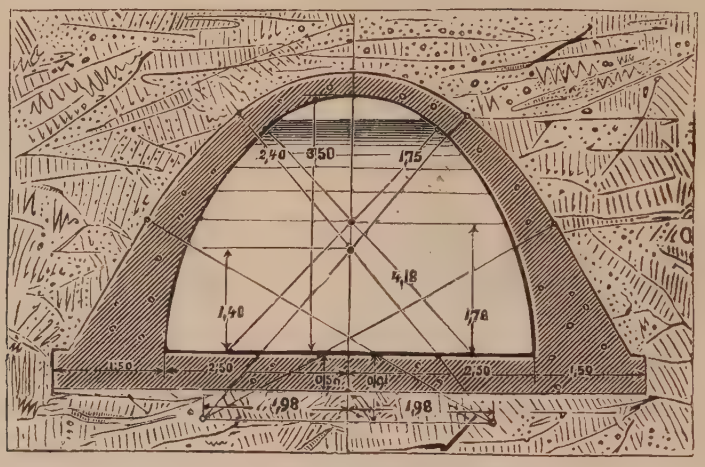
Фиг. 279. Водоводный каналъ водопровода гор. Гренобля.



Фиг. 280. Водопроводный каналъ Штуттгартскаго озернаго водопровода.

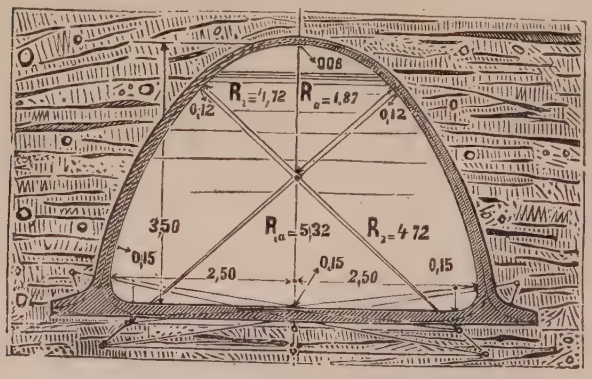
пасно выдерживаютъ нагрузки въ 9000 килогр. на 1 кв. метръ. Дальнѣйшихъ практическихъ свѣдѣній объ этихъ профиляхъ въ настоящее время не имѣется.

Небольшіе водопроводные каналы. Небольшіе водопроводные каналы обыкновенно устраиваются изъ трубъ, и рѣже изъ прямоугольныхъ желобовъ. Начиная съ діам. 450 миллим., черезъ трубы уже невозможно пролѣзать. Если требуется сохранить возможность основательной чистки каналовъ и обнаруженія въ нихъ поврежденій, необходимо на опредѣленныхъ разстояніяхъ (см. ниже) устраивать ревизіонныя шахты для продѣванія въ

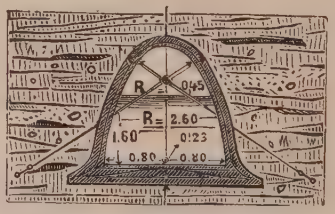


Фиг. 281. Бетонный каналъ (сквозной).

трубы щетокъ или банниковъ для чистки, а также для осмотра и изслѣдованія состоянія трубъ при освѣщеніи ихъ внутри. Если употребляются цементныя или гончарныя трубы, то необходимо избѣжать скорости воды больше 1 метра въ секунду; болѣе значительныя скорости могутъ быть допущены при примѣненіи чугунныхъ трубъ. Небольшія овальныя поперечныя сѣченія рѣшительно не должны быть допущены, такъ какъ черезъ трубы подобнаго сѣченія очень трудно протягивать щетки, и кромѣ того относительно движенія воды эти трубы не имѣютъ никакихъ замѣтныхъ преимуществъ предъ трубами круглаго сѣченія.



Фиг. 282. Сквозной каналъ Монье при Кенигсбергѣ



Фиг. 283. Проходной каналъ Монье въ прудѣ Wiekau-Warger.

Относительно техническихъ особенностей устройства крытыхъ каналовъ, толщины стѣнокъ и проч. возможно только привести условныя данныя. Главнымъ образомъ здѣсь должно быть обращено вниманіе на то, чтобы почва подъ подошвой не осѣдала и представляла бы собой прочный фундаментъ; въ противномъ случаѣ въ сооруженіяхъ даже весьма большихъ размѣровъ образуются щели и трещины. Относительно сопротивляемости различнаго рода почвъ можно

принять, что рыхлыя черноземныя почвы безопасно выдерживаютъ нагрузку въ 0,4 килогр. на 1 кв. сантим., глинистыя почвы около 0,8 килогр., песчаныя, щебенистыя и каменистыя — около 1 до 2 килогр., скалистыя почвы около 10 килогр. Если давленіе на подошву превышаетъ указанныя допускаемыя числа, то необходимо предпринять искусственное уплотненіе почвы (искусственную фундаментировку). При расположеніи канала въ выемкѣ наибольшимъ дѣйствующимъ на него давленіемъ почвы слѣдуетъ принимать вѣсъ насыпи надъ каналомъ (вѣсъ земли между вертикальными поверхностями, ограничивающими каналъ), т. е. то давленіе, которое мы получили бы, воображая себѣ тѣло насыпи въ жидкомъ состояніи. На подошву кромѣ этого давленія дѣйствуетъ еще вѣсъ каменной кладки канала и протекающей по немъ воды. Въ большинствѣ случаевъ вслѣдствіе сцѣпленія частицъ земли первое изъ указанныхъ давленій получается меньше вычисленнаго; въ плотныхъ породахъ при проведеніи штоленъ оно уменьшается до нуля, и кладка канала въ этихъ случаяхъ вообще представляетъ собой ничто иное, какъ облицовку или оболочку. Между этими двумя предѣлами, а именно: между наибольшимъ давленіемъ при воображаемой жидкой насыпи и отсутствіемъ давленія при укладкѣ канала въ штольнѣ, проведенной въ плотной породѣ, находятся тѣ давленія, которымъ дѣйствительно должна сопротивляться каменная кладка канала, и которыя опредѣляются по изложенной ниже теоріи давленія почвы.

По опредѣленнымъ внѣшнимъ усиліямъ и сопротивленію строительнаго матеріала можно по общимъ правиламъ опредѣлить размѣры сооруженія. Въ практикѣ необходимо еще принять въ соображеніе слѣдующее: опорныя или боковыя стѣны каналовъ должны передавать производимое на нихъ сверху давленіе подошвѣ, слѣд. толщина ихъ должна увеличиваться книзу соотвѣтственно нагрузкѣ, вызываемой въ нихъ собственнымъ ихъ вѣсомъ. Кромѣ того боковыя опоры должны сопротивляться боковому давленію на нихъ земли. Этимъ условіямъ онѣ почти всегда будутъ удовлетворять, если только ихъ толщина выбрана соотвѣтственно вертикальному давленію при вполнѣ готовомъ каналѣ и нагруженномъ уже сводѣ; но совсѣмъ иное явленіе будетъ имѣть мѣсто во время постройки. Боковыя давленія земли начинаютъ обнаруживаться только послѣ окончанія каменной кладки, если она выложена въ материкѣ, и послѣ засыпки канала, если онъ выложенъ не на материкѣ. Если уголъ естественнаго откоса грунта великъ, т. е. если грунтъ свободно можетъ оставаться съ вертикальными стѣнками или съ весьма небольшимъ откосомъ, такъ что кладка можетъ вестись на немъ безпрепятственно, то давленіе земли, по крайней мѣрѣ въ первое время, будетъ невелико; въ случаѣ материка или грунта, требующаго распорокъ, послѣ вынимания послѣднихъ происходитъ внезапный обвалъ земли, который можетъ вызвать не только давленіе, но и ударъ на опорныя стѣнки Если въ этомъ случаѣ своды еще не сомкнуты и не раскружалены, то опорныя стѣны должны сопротивляться давленію почвы въ качествѣ облицовочныхъ стѣнъ или подпоръ, при чемъ онѣ подвергаются гораздо большимъ усиліямъ, нежели впослѣдствіи при прямомъ своемъ назначеніи. Всѣ распорки канавы, а также и лѣса и кружала канала должны быть удалены лишь тогда, когда вся каменная кладка достаточно связана, т. е. когда соотвѣтственная часть канала совершенно готова и частью уже нагружена.

Всѣ открытые каналы выходятъ отъ сборныхъ бассейновъ (сборныхъ камеръ) и въ этомъ мѣстѣ всегда снабжаются передвижной входной задвижкой, иногда автоматически регулирующей притокъ воды. Расположенные подъ землей крытые каналы, не устроенные на всемъ своемъ протяженіи въ проходимыхъ галлереяхъ, для удовлетворенія требованіямъ правильной ихъ работы, должны быть снабжены еще и нѣкоторыми другими приспособленіями. Прежде всего очевидно, что на извѣстныхъ разстояніяхъ должны быть устроены входы для возможности осмотра, чистки, регулированія и опоражниванія канала, или такъ называемыя входныя камеры (шахты, колодцы и проч.). Только при раздѣленіи

канала на болѣе короткіе участки достигается возможность быстраго устраненія какихъ-либо замѣчаемыхъ недостатковъ и поврежденій, удобной чистки, исправленія и надзора; если рабочему приходится проходить разстоянія длиной въ километръ и болѣе раньше, нежели онъ можетъ приступить къ какой-либо работѣ, то надлежащій надзоръ за сооруженіемъ въ высшей степени невѣроятенъ. Затѣмъ въ мѣстахъ измѣненій линіи паденія неизбѣжно измѣненіе водяного поперечнаго сѣченія, которое обыкновенно производится помощью небольшихъ доступныхъ снаружи бассейновъ, снабженныхъ сливными и опорожнительными приспособленіями, называемыхъ редукціонными камерами. Наконецъ, при переходѣ открытыхъ каналовъ въ напорные водоводы требуются переходныя камеры или переходные резервуары со всѣми необходимыми приспособленіями. Каждая изъ этихъ камеръ должна быть снабжена вентиляціоннымъ приспособленіемъ (см. гл. 5), допускающимъ выходъ воздуха изъ канала при его наполненіи и достаточный впускъ его при опоражниваніи канала, а также обезпечивающимъ достаточное вентилированіе водопроводнаго канала при его работѣ. Кромѣ того, каждая такая камера снабжается сливнымъ приспособленіемъ, препятствующимъ поднятію воды въ каналѣ выше опредѣленной высоты, и запорнымъ приспособленіемъ для избѣжанія опоражниванія всего канала въ случаѣ какого-либо исправленія въ одномъ какомъ-нибудь мѣстѣ, для чего только часть всей длины канала можетъ быть опорожнена.

Взаимныя разстоянія между этими камерами могутъ быть тѣмъ больше, чѣмъ легче профиль канала допускаетъ удобный за нимъ присмотръ, и обратно; впрочемъ, они обусловливаются также и періодами перерыва работы, которые въ свою очередь зависятъ отъ емкости напорныхъ резервуаровъ и проч.

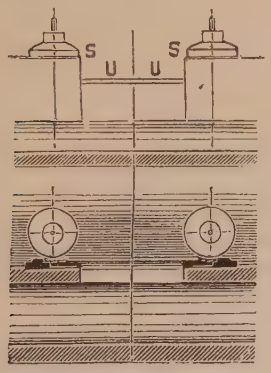
При каналахъ, черезъ которые невозможно пролѣзать (напр. трубахъ діам. 450 миллим. и меньше, и т. д.), разстояніе между каждыми двумя сосѣдними входными или ревизіонными шахтами не слѣдуетъ дѣлать больше 100 метр., такъ какъ только при подобномъ разстояніи возможно освѣтить каналъ такъ, чтобы и по срединѣ канала возможно было бы все видѣть вполнѣ отчетливо. Само собой разумѣется, что при подобныхъ тѣсныхъ каналахъ безусловно необходимо, чтобы ось трубы между каждыми двумя сосѣдними шахтами представляла бы собой прямую линію; такимъ образомъ направленіе всей линіи канала представляетъ собой видъ многоугольника. При крутыхъ поворотахъ и закругленіяхъ вершины многоугольника иногда располагаются такъ близко другъ отъ друга, что устройство шахтъ въ каждой такой точкѣ требовало бы слишкомъ значительныхъ затратъ; въ подобныхъ случаяхъ вмѣсто шахтъ можно устроить свѣтовые люки (или иллюминаторы) т. е. вертикальныя трубы, по которымъ могутъ быть опущены требуемыя для освѣщенія внутренности канала лампы; вообще-же на подобныхъ разстояніяхъ предпочитаютъ устройство напорныхъ водоводовъ.

При проходимыхъ каналахъ ревизіонныя шахты располагаются на взаимныхъ разстояніяхъ до 500 метр., какъ это напр. имѣетъ мѣсто въ водоводахъ отъ Dhuis и Vanne (въ Парижѣ). При расположеніи канала въ штольнѣ подъ высокимъ горнымъ кряжемъ, вслѣдствіе высокой стоимости ревизіонныхъ шахтъ, разстоянія между ними дѣлаются еще больше; этотъ вопросъ долженъ былъ тщательно изученъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

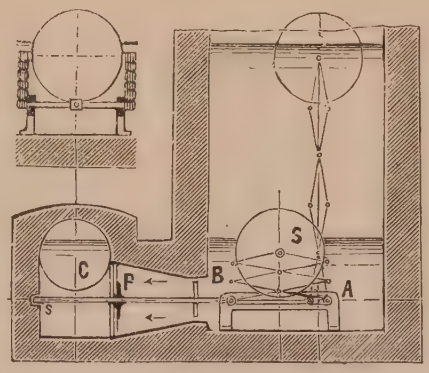
Въ качествѣ входной шахты, конечно, можетъ служить также и всякая редукціонная камера или вообще всякій промежуточный пріемникъ, лежащій на протяженіи канала. Кромѣ упомянутыхъ приспособленій для слива воды и опоражниванія канала, въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказываются неизбѣжными и приборы для измѣренія количества протекающей по каналу воды, указатели уровня воды въ каналѣ, сигнальные приборы для указанія пониженія уровня воды ниже опредѣленнаго предѣла, самодѣйствующіе регуляторы впуска и выпуска и т. под. Въ камерахъ должно быть достаточно мѣста для помѣщенія необходимыхъ при уходѣ и надзорѣ за каналами инструментовъ. Въ общемъ сооруженію слѣдуетъ

придать по возможности простѣйшій видъ, избѣгая всякихъ архитектурныхъ украшеній, въ видѣ башенокъ и проч.; при постройкѣ необходимо раньше всего имѣть въ виду главную цѣль: удобный доступъ, легкую доставку матеріаловъ для могущихъ понадобиться исправленій, легкость удаленія получающагося строительнаго мусора и проч., а въ этомъ отношеніи эти качества сооруженія нисколько не улучшаются отъ излишнихъ архитектурныхъ вычурностей. Детали сооруженій видны и изъ слѣдующихъ примѣровъ.

Сборныя камеры. Хозяйственно-экономическія соображенія требуютъ, чтобы ни одинъ водопроводъ не заимствовалъ бы изъ мѣста добыванія или источника больше воды, чѣмъ въ дѣйствительности требуется для цѣлей водоснабженія, для предупрежденія несвоевременнаго опоражниванія поверхностныхъ или подземныхъ (грунтовыхъ) водоемовъ съ одной стороны, а съ другой стороны для лучшаго использованія дѣйствительныхъ высотъ напора (для сбереженія въ поперечныхъ сѣченіяхъ каналовъ, трубъ и проч.), а также для предохраненія сливныхъ приспособленій отъ ненужныхъ нагрузокъ. Если потребность въ водѣ количественно измѣняется въ различное время, то для подобнаго регулированія притока безусловно необходимо устройство впускныхъ приспособленій въ сборныхъ камерахъ. Регулированіе можетъ быть устроено самодѣйствующимъ или же приводимымъ въ дѣйствіе отъ руки; оба эти способа регулированія могутъ быть также комбинированы между собой. Чаще встрѣчаются впускныя приспособленія, дѣйствующія отъ руки. При впускахъ изъ рѣкъ, озеръ и т. д. эти приспособленія обыкновенно представляютъ собой простыя клинкеты или подвижные затворные щиты; при впускахъ изъ ключей преимущественно примѣняются задвижки. Самодѣйствующія впускныя приспособленія имѣютъ устройство, подобное изображеннымъ на



Фиг. 284.



Фиг. 285.

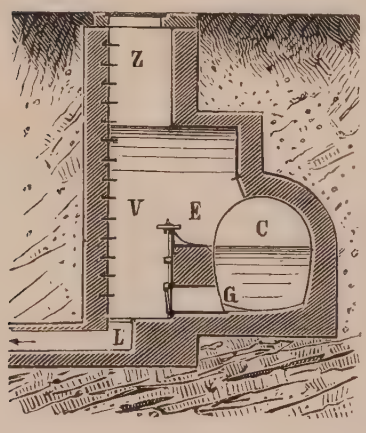
фиг. 125 (см. отд. II), если только колебанія уровня воды незначительны. Если же имѣемъ дѣло съ значительными количествами воды, то вмѣсто сливной трубы, показанной на фиг. 125, устраивается сливная перемычка съ подвижнымъ водосливнымъ бортомъ, какъ показано на фиг. 284. Водосливъ *U U* соединенъ съ двумя поплавками *S S*, которые удерживаютъ бортъ водослива постоянно на одномъ и томъ же разстояніи подъ уровнемъ воды, такъ что въ сточный каналъ поступаетъ постоянно одинаковое количество воды. Если требуется увеличить количество протекающей воды, то это достигается въ желаемой степени нагрузкою поплавковъ, и, наоборотъ, уменьшеніемъ нагрузки поплавковъ количество притекающей воды опять уменьшается до первоначальной его величины. При значительныхъ колебаніяхъ воды въ сборной камерѣ примѣняется впускное приспособленіе, показанное на фиг. 285, которое подобно предыдущему также приводится въ дѣйствіе поплавками. Помощью пустотѣлой штанги *s* приводится въ дѣйствіе запорная тарелка *P* такимъ образомъ, что при внѣшнемъ ея положеніи, при наиболѣе низкомъ уровнѣ воды, она даетъ наибольшее открытіе, а при положеніи, изображенномъ на фиг. 285, при наивысшемъ уровнѣ воды, она даетъ наименьшее поперечное сѣченіе для прохода воды изъ сборной камеры въ калъ *C*. Оба эти пропускныхъ поперечныхъ сѣченія могутъ быть сообразованы такъ (опытнымъ путемъ), чтобы они пропускали приблизительно оди-

наковое количество воды. Если требуется временами пропускать больше, а временами меньше воды въ каналъ, то это можетъ быть достигнуто измѣненіемъ величины тарелки *P*, т. е. замѣной ея другою соотвѣтствующей величины. Движеніе тарелки *P* и соотвѣтственно штанги *s* производится шаровымъ поплавкомъ *S*, удлиняющимъ или укорачивающимъ направляемое въ салазкахъ *AB* складное коромысло, конецъ *A* котораго закрѣпленъ неподвижно, а конецъ *B* можетъ двигаться по горизонтальному направленію, какъ видно изъ чертежа.

Впрочемъ, сборныя камеры, какъ сооруженія, значительно разнятся другъ отъ друга; въ зависимости отъ количества доставляемой воды онѣ могутъ представлять собой сборныя шахты, колодезныя шахты, уширенные сборные каналы или, наконецъ, (при рѣчной водѣ) крытые каналы. Точно также полученіе воды можетъ производиться изъ искуственныхъ (какъ напр. изъ прудовъ) или изъ естественныхъ водохранилищъ (озеръ). Относительно конструкціи этихъ сооруженій вообще можно сказать, что, если они расположены подъ естественнымъ материкомъ, то наиболѣе дешевымъ и цѣлесообразнымъ путемъ доступъ къ нимъ получается помощью входныхъ шахтъ; если же они расположены надъ материкомъ, то въ нихъ устраиваются боковые входы на уровнѣ земли. Во всякомъ случаѣ необходимо всячески озаботиться предупрежденіемъ замерзанія воды въ сборныхъ камерахъ.

При примѣненіи входныхъ шахтъ вентиляція камеры производится черезъ шахтную крышку (какъ показано на фиг. 106, отд. II); при боковыхъ входахъ вентиляція производится или черезъ расположенныя надъ дверьми розетки (см. ф. 103, отд. II) или же черезъ вентиляціонные камины (ср. фиг. 100, отд. II), какъ показано на фиг. 287.

Промежуточные бассейны (входныя камеры, редакціонныя камеры). Соотвѣтственно вышеуказаннымъ цѣлямъ промежуточныхъ бассейновъ послѣдніе снабжаются сливными приспособленіями, шлюзовыми и опорожнительными спусками; въ нѣкоторыхъ случаяхъ водопроводный каналъ уширяется въ видѣ бассейна, служащаго тогда сборникомъ для осажденія песку. Выше (см. отд. II, фиг. 101) нами приведенъ примѣръ подобнаго промежуточнаго бассейна, примѣненнаго въ Баденскомъ водоснабженіи. Онъ снабженъ боковыми входами и одинаково можетъ служить какъ для провода воды, такъ и для сбора изъ ключей (каптажа). Гораздо проще подобныя камеры бываютъ, если онѣ совершенно закрыты и снабжены входными шахтами для доступа въ нихъ, какъ показано на фиг. 286, гдѣ *Z* изображаетъ входную шахту. Изъ этой шахты по стремяночнымъ скобамъ спускаются въ переднее пространство *V*, соединенное съ опоражнивающимъ спускомъ *L* помощью рѣшетки. Въ водопроводномъ каналѣ *C* сдѣлано боковое отверстіе *E* (помощью упоровъ свода изъ двутавровыхъ бимсовъ), которое можетъ имѣть произвольный размѣръ по длинѣ канала въ зависимости отъ предвидимаго количества сливающейся воды. Переднее пространство или камера *V* помощью бокового перекрытія можетъ быть уширена по желанію. Помощью задвижки, расположенной у наружнаго конца шлюзоваго спуска *G*, опоражниваніе водопроводнаго канала можетъ быть произведено черезъ переднее пространство или соотвѣтственно черезъ опоражнивающій спускъ *L*. Подобныя устройства рѣшительно должны предпочитаться тѣмъ, въ которыхъ входная шахта расположена непосредственно надъ водопроводнымъ каналомъ, такъ какъ при нихъ въ каналъ не можетъ попасть грязь отъ входа въ шахту или отъ другихъ случайныхъ причинъ, между тѣмъ какъ въ каналѣ со входной шахтой, расположенной надъ уровнемъ чистой воды, легко можетъ произойти засореніе. Боковое отверстіе *E* въ большихъ водопроводныхъ каналахъ иногда получаетъ такіе размѣры, что черезъ него можно пропустить лодку или плотъ для осмотра самаго канала; въ этихъ случаяхъ, само собой разумѣется уширяется также и входъ въ шахту *Z*. Вентиляція промежуточныхъ пріемниковъ производится тѣмъ же путемъ, какъ и въ колодцевыхъ и сборныхъ камерахъ.

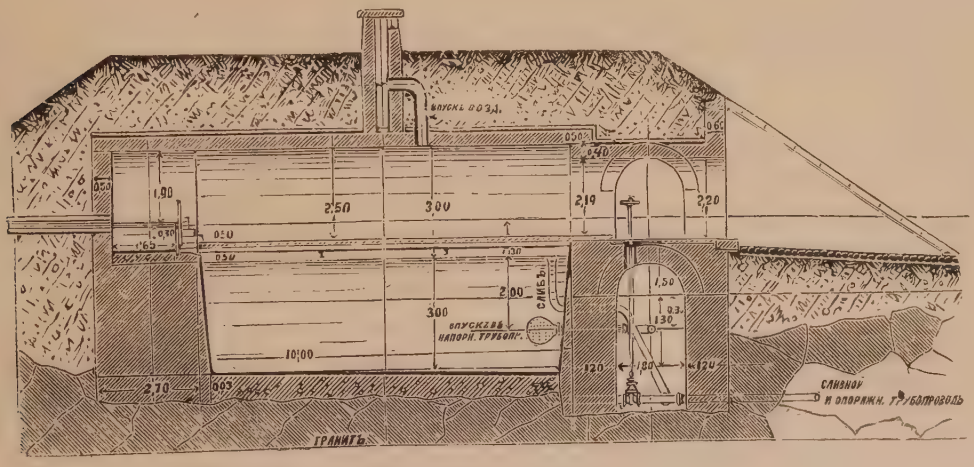


Фиг. 286.

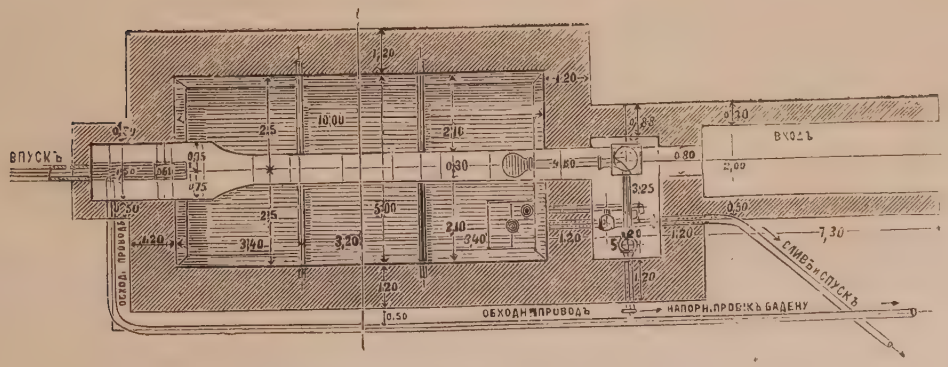
Переходныя камеры. Если въ какомъ-нибудь мѣстѣ открытый водопроводный каналъ прекращается, и вода съ этого пункта направляется по напорному водоводу, то посредствующимъ звеномъ между этими водоводами служитъ такъ называемая переходная камера. Она образуетъ собой резервуаръ, въ который изливается проходящая по каналу вода, мо-

гущая также въ немъ осаждать содержащійся въ ней песокъ, если только резервуаръ достаточно великъ, т. е. достаточно длиненъ для возможности осажденія въ немъ песчаныхъ отложеній (см. отд. II, гл. 5). Для возможности очистки и исправленія резервуара безъ прекращенія дѣйствія водовода обыкновенно устраиваютъ еще обходный водоводъ.

На фиг. 287 и 288 показана подобная переходная камера, устроенная авторомъ для водоснабженія города Бадена. Впускъ въ большой бассейнъ расположенъ въ восточной стѣнѣ камеры и можетъ быть закрытъ помощью щита. Въ послѣднемъ случаѣ имѣющаяся въ вос-



Фиг. 287. Продольный разрѣзъ резервуара



Фиг. 288. Планъ резервуара у Эзерштейна (Баденъ).

точной стѣнѣ ниша образуетъ собой меньшій бассейнъ, отъ котораго отвѣтвляется находящійся въ непосредственномъ сообщеніи съ напорнымъ водоводомъ обходный водоводъ. Съ западной боковой стороны расположена особая щитовая камера, доступъ въ которую происходитъ черезъ входную шахту. Вентиляція, впускъ, сливъ и шлюзовой спускъ видны изъ чертежа; точно также на чертежѣ показанъ входъ въ нишу въ восточной стѣнѣ, устроенный въ видѣ моста изъ плитъ, уложенныхъ по желѣзнымъ балкамъ. Въ бетонныхъ бассейнахъ подобнаго рода лучше устраивать мостъ въ видѣ подпружныхъ арокъ, какъ показано на фиг. 46 отд. II. Самъ бассейнъ, какъ показалъ опытъ, достаточно великъ и длиненъ для препятствованія отложенію находящагося въ водѣ песку. На напорномъ водоводѣ находится задвижка, регулированіемъ которой въ резервуарѣ можетъ быть достигнута приблизительно постоянная высота уровня воды.

Вмѣсто задвижки при большихъ сооруженіяхъ часто примѣняются впускные вентили, какъ напр. въ такъ называемой „Têtes de syphons“ Парижскаго водоснабженія. Кромѣ того впускъ можетъ регулироваться такъ, какъ показано на фиг. 284 и 285.

Первоначальное пусканіе въ дѣйствіе напорныхъ водоводовъ необходимо всегда производить съ большой осторожностью, такъ какъ при быстромъ наполненіи могутъ произойти весьма вредные удары и толчки. Поэтому въ нѣкоторыхъ случаяхъ (какъ это имѣло мѣсто, напр., при водоснабженіи города Неаполя) напорный водоводъ наполняется въ самой низкой его точкѣ помощью особаго побочнаго трубопровода, выходящаго изъ переходной камеры, при чемъ воздухъ изъ него вытѣсняется постепенно. Подобныя приспособленія, конечно, весьма цѣлесообразны, но при томъ весьма дороги.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ здѣсь указать, что во всѣхъ открытыхъ водоводахъ необходимо сохранять равномѣрное паденіе на отдѣльныхъ его участкахъ и строго наблюдать за тѣмъ, чтобы уровень воды никогда не превышалъ-бы впередъ назначенную высоту. Это условіе является особенно важнымъ въ тѣхъ случаяхъ, когда размѣры сѣченія канала, какъ напр. при круглыхъ и овальныхъ профиляхъ, опредѣлены въ зависимости отъ наивыгоднѣйшаго угла наполненія (см. отд. IV, гл. 9). Пространство между уровнемъ воды, соотвѣтствующимъ этому наивыгоднѣйшему углу наполненія, и верхней гранью канала обыкновенно весьма мало, а совершенно заполненный каналъ пропускаетъ меньше воды. Такимъ образомъ небольшое волненіе воды можетъ образовать совершенно заполненный водоводъ, вызывая обратный подпоръ воды и подвергая стѣнки канала такимъ усиліямъ, для которыхъ онѣ не разсчитаны. Кромѣ того въ такихъ случаяхъ происходитъ неправильное порывистое изливаніе воды съ повторяющимися черезъ правильные промежутки времени остановками.

Для предупрежденія поднятія уровня воды въ каналахъ выше опредѣленной высоты, помимо правильной и точной укладки трубъ, служатъ достаточно широкіе водосливы въ редукціонныхъ камерахъ, иногда съ успѣхомъ замѣняемые водосливными сифонами. Каналы изъ бетона, гончарныхъ трубъ и тесаныхъ камней или обожженныхъ кирпичей могутъ оказать достаточное сопротивленіе внутреннему давленію воды въ 1 до 3 метр.; въ каналахъ же изъ бутовой кладки подобное давленіе не можетъ быть допущено. При чугунныхъ трубопроводахъ внутреннее давленіе обусловливается только толщиной стѣнокъ.

Выборъ строительнаго матеріала для устройства каналовъ обусловливается, какъ упомянуто выше, мѣстными условіями. При большихъ скоростяхъ воды, на основаніи вышеизложенныхъ причинъ, можно рѣшиться только на чугунныя трубы. При нормальныхъ условіяхъ и большихъ размѣрахъ, наивыгоднѣйшая форма каналовъ легче всего получается изъ лекальныхъ или тесаныхъ камней; та-же цѣль въ нѣкоторыхъ случаяхъ гораздо дешевле достигается бутовой кладкой, и въ этомъ случаѣ послѣдняя должна быть предпочтена. Если размѣры канала для провода даннаго количества воды не очень велики, то большей частью примѣняются трубные каналы изъ гончарной глины или бетона; послѣдніе отливаются прямо въ канавахъ, или же укладываются въ видѣ готовыхъ трубъ съ уплотненными стыками. При небольшихъ поперечныхъ сѣченіяхъ и умѣренной скорости воды внутри трубъ едва ли могутъ произойти значительныя поврежденія, кромѣ только случая осѣданія подошвы ямы; поэтому необходимо избѣгать укладки подобныхъ водоводовъ на насыпяхъ, а при неизбѣжности подобной работы слѣдуетъ подъ ними устраивать фундаменты. Какъ было упомянуто выше, вода не должна имѣть скорости больше 1 метра въ секунду.

4. Главный проводъ.

Общія свѣдѣнія объ устройствѣ водоводовъ изложены нами выше въ гл. 2, гдѣ мы спеціально разсматривали главный проводъ, идущій отъ насосной станціи.

Если при самотечныхъ водопроводахъ имѣется одно только мѣсто добыванія воды (источникъ), или если вода изъ многихъ мѣстъ ея добыванія проводится въ одно мѣсто (мѣсто соединенія, переходную камеру и проч.), то отсюда именно начинается главный проводъ къ снабжаемой мѣстности, который оканчивается въ напорномъ резервуарѣ и въ случаѣ трубопровода долженъ имѣть опредѣленную высоту напора въ извѣстныхъ мѣстахъ. Соединяя конечную точку съ источникомъ, мы несомнѣнно получаемъ кратчайшее разстояніе для направленія главнаго провода. Поэтому раньше всего необходимо изслѣдовать, нельзя ли въ данномъ случаѣ слѣдовать по направленію этого кратчайшаго разстоянія.

Въ большинствѣ случаевъ такой выборъ оказывается невозможнымъ, и тогда дѣйствительное направленіе должно быть расположено справа или слѣва отъ этой прямой линіи. Такимъ образомъ второе изслѣдованіе должно имѣть цѣлью опредѣлить, слѣдуетъ-ли выбрать направленіе водовода справа или слѣва отъ упомянутой прямой. На этотъ выборъ, кромѣ стоимости сооруженія, рѣшающее значеніе имѣютъ еще особыя условія, которыя не могутъ подлежать общему разсмотрѣнію. Сюда относятся, напр., запрещеніе пользоваться чужой землей, трудность правильной укладки трубъ въ топкой болотистой почвѣ, обходъ мостовъ или укладка подъ рѣками и т. д., и т. д. При напорныхъ водоводахъ обыкновенно пользуются проѣзжими улицами. Во всякомъ случаѣ при опредѣленномъ направленіи одинъ проводъ для прохода всего требуемаго количества воды окажется самымъ дешевымъ, будь это напорный водоводъ или открытый каналъ.

Это весьма легко видѣть, принимая во вниманіе, что стоимость провода вычисляется по вышеприведенной формулѣ:

$$K = m\,DL = m\sqrt[5]{\frac{\lambda Q^2 L^6}{H}},$$

гдѣ буквы имѣютъ то-же значеніе, какъ приведено было выше. Если желательно устроить два провода съ діаметрами D', изъ коихъ каждый пропускаетъ только количество воды $\frac{Q}{2}$, то затраты на устройство будутъ:

$$K' = 2m\,D'L = 2m\sqrt[5]{\frac{\lambda Q^2 L^6}{4H}} = 1{,}52\ K;$$

при трехъ проводахъ стоимость будетъ 1,89 K, при четырехъ 2,30 K и т. д.

Затѣмъ весьма цѣлесообразно по возможности придавать проводу одинаковую ширину по всей его длинѣ не только потому, что погонная единица трубъ опредѣленной длины и ширины, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ дешевле, чѣмъ общая длина ихъ больше, но также и на томъ основаніи, что при одинаковой ширинѣ на болѣе значительной длинѣ водовода доступъ къ нему легче, и всякія въ немъ исправленія, содержаніе его въ исправности и проч. болѣе удобны.

Для опредѣленія ширины D единичнаго водовода, имѣющаго на различныхъ участкахъ длины $l_1 + l_2 + \ldots\ldots l_n = L$ соотвѣтственно различныя ширины въ свѣту d_1, d_2 . . . . d_n, причемъ общая потеря въ единичномъ водоводѣ должна соотвѣтствовать суммѣ потерь на отдѣльныхъ участкахъ, т. е. $h_1 + h_2 + \ldots\ldots + h_n = H$, можетъ служить приводимая ниже (см. отд. IV, гл. 16) формула, по которой, если черезъ Q обозначимъ пропускаемое количество воды, получаемъ:

$$\frac{\lambda Q^2 L}{D^5} = H = h_1 + h_2 + \ldots + h_n = \lambda Q^2 \left(\frac{l_1}{d_1{}^5} + \frac{l_2}{d_2{}^5} + \ldots\ldots + \frac{l_n}{d_n{}^5} \right),$$

откуда получаемъ зависимость:

$$1)\quad \frac{L}{D^5} = \frac{l_1}{d_1{}^5} + \frac{l_2}{d_2{}^5} + \ldots\ldots + \frac{l_n}{d_n{}^5} \Big).$$

Въ этой формулѣ, какъ это обыкновенно допускается при длинныхъ проводахъ, пренебрегается тѣми потерями давленія, которыя происходятъ отъ измѣненій скоростей въ водоводѣ, состоящемъ изъ звеньевъ различной ширины.

Что же касается стоимости провода воды, то она на каждую кубическую единицу тѣмъ меньше, чѣмъ больше количество пропускаемой воды.

Если черезъ k означимъ капитализированную стоимость провода одной кубической единицы воды, то должна существовать зависимость:

$$2)\quad k = \frac{K}{Q} = m \sqrt[5]{\frac{\lambda L^6}{H Q^3}} = a \cdot Q^{-\frac{3}{5}}.$$

Такимъ образомъ стоимость обратно пропорціональна $^3/_5$-ой степени отъ количества воды, такъ, напримѣръ, если стоимость прохода 0,050 куб. метр. будетъ A, то для $Q = 0{,}060$ куб. метр. она будетъ $1{,}08A$; для $Q = 0{,}100$ куб. метр. она будетъ $1{,}32A$, и т. д.

Зависимость между высотой напора, длиной водовода и шириной его (водянымъ поперечнымъ сѣченіемъ) была приведена выше (см. гл. 2), гдѣ мы и разсмотрѣли примѣненіе избытка паденія.

Принимая во вниманіе все сказанное въ предыдущей главѣ относительно открытыхъ проводовъ, мы видимъ, что найденные результаты [1]) примѣнимы и къ тому случаю, когда этотъ открытый водоводъ разсматривается въ качествѣ главнаго провода.

Что касается выбора системы главнаго провода, то при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ рѣшающее значеніе имѣетъ наименьшая стоимость. Въ большинствѣ случаевъ, исходя изъ этой точки зрѣнія, легко рѣшить, *слѣдуетъ-ли устроить напорный или открытый водоводъ*; если для перваго имѣется въ распоряженіи общественная дорога или улица, проселочная дорога и т. д., пользованіе которою возможно безъ большихъ затратъ, то въ гористыхъ или холмистыхъ мѣстностяхъ, при *небольшихъ количествахъ воды* и достаточной высотѣ напора, слѣдуетъ всегда остановиться на напорныхъ водоводахъ. Легко видно, что въ населенной мѣстности устройство открытаго (нѣсколько болѣе дешеваго на каждую пог. единицу) водовода, который долженъ быть проведенъ съ опредѣленнымъ паденіемъ, подобно улицѣ или желѣзной дорогѣ, влечетъ за собой дорогое отчужденіе земли, устройство значительнаго числа акведуковъ и подводныхъ проходовъ и проч., такъ что самое краткое изученіе вопроса несомнѣнно приведетъ къ заключенію, что подобное рѣшеніе вопроса будетъ гораздо дороже, нежели помощью напорнаго водовода. Если вода должна быть искусственно поднята, то во всякомъ случаѣ до той высоты, отъ которой возможно проведеніе воды самотекомъ, слѣдуетъ примѣнять напорный водоводъ (ср. гл. 2).

---

[1]) Формулы даны Дюпюи (см. отд. IV, гл. 5).

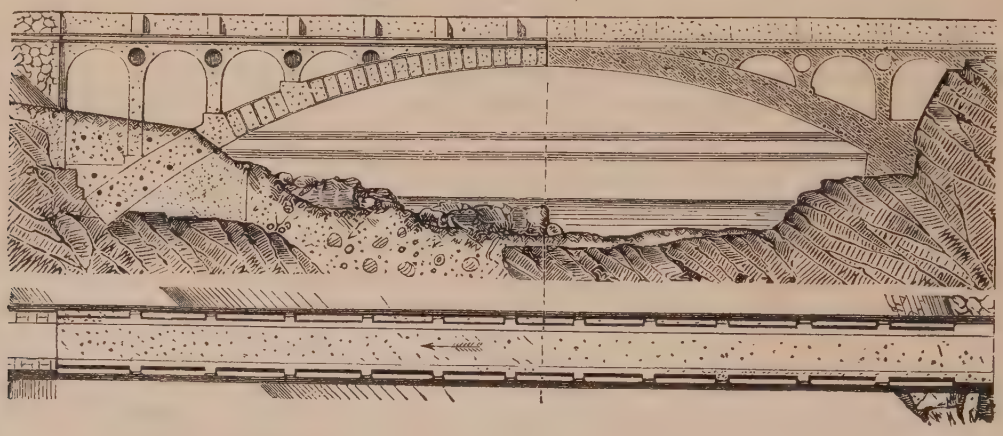
Совсѣмъ иначе вопросъ обстоитъ въ горнстыхъ мѣстностяхъ при проводѣ **большихъ количествъ воды**. Въ этомъ случаѣ обыкновенно одна напорная труба не можетъ удовлетворить требованіямъ, при чемъ необходимо еще принять во вниманіе, что примѣненіе большихъ размѣровъ трубъ при высокихъ напорахъ представляетъ собой большую опасность (гл 2). Наилучшія чугунныя трубы въ настоящее время рѣдко изготовляются діаметромъ больше 1,2 метр. Если же требуется примѣнять трубы болѣе значительнаго діаметра, то необходимо перейти къ желѣзнымъ или стальнымъ трубамъ, изготовленіе которыхъ гораздо дороже, а долговѣчность меньше чугунныхъ трубъ. Деревянныя трубы (изготовленныя изъ деревянныхъ клепокъ и стянутыя обручами) хотя выдерживаютъ давленія отъ 1 до 2 атмосферъ безъ замѣтнаго потѣнія, но, само собой разумѣется, весьма непрочны. Широкія гончарныя и цементныя трубы вообще не выдерживаютъ постоянныхъ большихъ давленій. Всѣ напорные трубопроводы большихъ діаметровъ весьма чувствительны къ осѣданію подъ ними почвы, легко вызываемому малѣйшей неплотностью въ стыкахъ трубъ.

Наконецъ, необходимо принять во вниманіе, что значительныя количества воды встрѣчаются почти исключительно въ долинахъ рѣкъ, большей частью весьма удаленныхъ отъ снабжаемыхъ мѣстностей; поэтому для самотечныхъ водоводовъ въ этомъ случаѣ имѣются весьма незначительные напоры. Но при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ потеря напора отъ тренія въ трубопроводахъ гораздо больше, нежели въ открытыхъ водоводахъ, и еще тѣмъ болѣе, что въ исключительно употребляемыхъ чугунныхъ (желѣзныхъ) трубахъ для предупрежденія ржавленія скорость не должна быть ниже извѣстнаго предѣла (40 сантиметровъ въ секунду).

Открытые водоводы, наоборотъ, съ удобствомъ служатъ для провода большихъ—преимущественно весьма большихъ—количествъ воды и, расположенные на твердой (материковой) почвѣ, они могутъ быть построены сравнительно весьма дешево. Сравнительныя исчисленія показываютъ, что даже въ томъ случаѣ, когда протяженіе линіи паденія по данной мѣстности весьма велико въ сравненіи съ длиной напорнаго трубоводовода, устройство открытаго водовода при большихъ количествахъ пропускаемой воды представляетъ собой болѣе выгодное рѣшеніе вопроса. При приблизительно одинаковыхъ расходахъ, на основаніи сказаннаго выше (см. гл. 3), открытые каналы рѣшительно имѣютъ преимущества предъ напорными трубоводоводами. Эти преимущества главнымъ образомъ обнаруживаются тогда, когда, какъ это большей частью и бываетъ, проходящее количество воды различно въ различныя времена года: такъ какъ напорный проводъ долженъ быть всегда наполненъ водой и вообще слѣдовать за всѣми неровностями мѣстности, то при наступающемъ измѣненіи расхода истокъ изъ трубы необходимо долженъ регулироваться, такъ какъ въ противномъ случаѣ въ трубу проникнетъ воздухъ. Это регулированіе при всѣхъ обстоятельствахъ затрудняетъ уходъ за трубопроводомъ; при небрежности или неправильности регулированія во многихъ случаяхъ происходятъ сильные толчки, и вслѣдствіе поступленія воздуха въ водѣ обнаруживается бѣлая, какъ молоко, муть (пѣна), которая сильно понижаетъ качества воды. Это ухудшеніе качествъ воды еще усиливается отъ самаго даже слабаго измѣненія скорости теченія въ трубѣ при наименьшемъ притокѣ, вслѣдствіе осажденія ржавчины на стѣнкахъ трубъ.

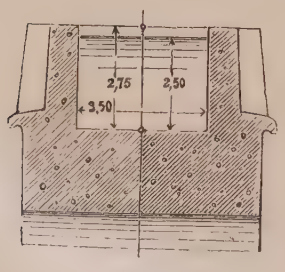
Особенно выгодными оказываются открытые водоводы въ сравненіи съ напорными трубопроводами при тѣхъ условіяхъ, когда направленіе водовода вы-

зываетъ немногія только скрещенія съ общественными или частными дорогами, желѣзнодорожными путями, каналами и проч., а требуетъ только короткихъ переходовъ черезъ долины, и когда главнымъ образомъ водоводъ расположенъ въ материковой почвѣ. Даже въ тѣхъ случаяхъ, когда какъ напорные, такъ и открытые водоводы должны быть расположены въ глубокихъ выемкахъ или проведены въ туннеляхъ, весьма невыгодно, какъ было упомянуто выше (см. гл. 3), остановиться на напорныхъ трубопроводахъ не только для большихъ, но и для среднихъ и даже небольшихъ количествъ пропускаемой воды. При очень широкихъ и глубоко врѣзанныхъ долинахъ, наоборотъ, переходъ открытыми водоводами вызываетъ необходимость устройства нижнихъ строеній (акведуковъ), требующихъ иногда такихъ значительныхъ затратъ, что при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ прибѣгаютъ къ комбинаціи напорныхъ проводовъ (сифоновъ) и открытыхъ каналовъ (акведуковъ). Для лучшаго соображенія при рѣшеніи этого вопроса считаемъ полезнымъ привести здѣсь описаніе нѣкоторыхъ выполненныхъ сооруженій.



Фиг. 289. Акведукъ при Вейсенбахѣ (Масштабъ 1 :475).

Короткіе переходы черезъ долины помощью акведуковъ обыкновенно оказываются дешевле, нежели поперекъ прорѣзывающіе долину уложенные подъ землей трубопроводы (сифоны), преимущественно тогда, когда по долинамъ протекаютъ грунтовые потоки или быстрые ручьи, уложеніе трубъ подъ которыми требуетъ дорогихъ работъ по уплотненію почвы и отводу воды и представляетъ собой опасность отъ затопленія полой водой во время постройки. Скалистые берега въ подобныхъ случаяхъ значительно облегчаютъ выполненіе работъ. При подобныхъ обстоятельствахъ устроенъ, напримѣръ, показанный на фигурѣ 289 акведукъ при Вейсенбахѣ въ долинѣ рѣки Муръ (въ Баденѣ). Здѣсь по бетонному желобу длиною около 60 метровъ, протекаетъ наибольшее количество воды 8 куб. метр. въ секунду надъ скалистымъ русломъ быстрой рѣченки Мургъ, вытекающей изъ Шварцвальда. Вся работа выполнена въ весьма короткій срокъ съ 29 сентября по 23 ноября 1895 года фирмой Торманъ и Шнеллеръ въ Аугсбургѣ. Объемъ бетоннаго массива составляетъ около 900 куб. метр. Открытый водяной желобъ въ поперечномъ разрѣзѣ показанъ на фиг. 290. Сооруженіе прекрасно сохранилось до сихъ поръ, несмотря на



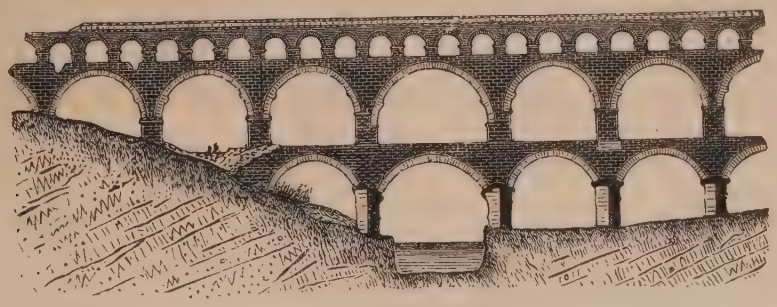
Фиг. 290. Поперечный разрѣзъ.

бывавшія за это время жестокія зимы и вообще на рѣзкія измѣненія погоды въ этомъ мѣстѣ долины Мургъ.

Къ короткимъ переходамъ принадлежитъ также проведеніе каналовъ поперекъ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ выемокъ, судоходныхъ каналовъ, разнаго рода рабочихъ каналовъ и проч. Въ этихъ случаяхъ невозможно производить работы по своимъ соображеніямъ, а необходимо подчиняться требованіямъ соотвѣтственныхъ властей. При примѣненіи, напримѣръ, сифоновъ (изогнутыхъ трубъ) обыкновенно, а при пересѣченіи желѣзныхъ дорогъ преимущественно, предписывается устройство входныхъ галлерей для доступа къ трубамъ, которое значительно удорожаетъ сооруженіе. Если акведукъ не требуетъ промежуточныхъ устоевъ, то подобные переходы при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ могутъ быть произведены въ видѣ желѣзныхъ мостовъ. Водопроводные каналы тогда изготовляются изъ дерева или изъ листового желѣза, какъ это устроено, напримѣръ, при водопроводѣ изъ Vanne (въ Парижѣ) при пересѣченіи имъ Бурбонской желѣзной дороги; при небольшихъ количествахъ воды, трубы изготовляются въ видѣ ребристыхъ пустотѣлыхъ балокъ; какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ приготовленный изъ листового желѣза водяной желобъ можетъ быть сдѣланъ и примѣненъ въ видѣ свободно-лежащей балки, арочной фермы и проч. Если свободная высота отъ подошвы переходимаго канала надъ перекрываемой площадью (шоссе, желѣзной дороги, рѣчки и проч.) не велика, то наилучшіе результаты получаются отъ обыкновенныхъ балочныхъ мостовъ. При значительной длинѣ желоба необходимо его устроить такъ, чтобы онъ допускалъ перемѣщенія, происходящія вслѣдствіе измѣненія температуры, безъ нарушенія его водонепроницаемости.

Переходы черезъ очень широкія и глубоко врѣзанныя долины главнымъ образомъ устраивались древними римлянами, которые не умѣли изготовлять напорные проводы значительныхъ діаметровъ.

Одно изъ наиболѣе извѣстныхъ, сравнительно еще хорошо сохранившихся и въ виду значительнаго количества пропускаемой воды правильно построенныхъ сооруженій временъ римлянъ [1]) представляетъ собой Pont de Gard при Нимѣ во Франціи, который служитъ не только акведукомъ, но и шоссейнымъ мостомъ, и видъ котораго изображенъ на фигурѣ 291.



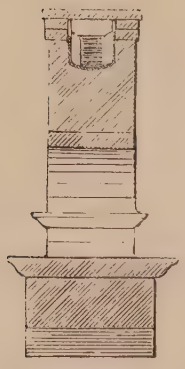
Фиг. 291.
Акведукъ Pont de Gard при Нимѣ.

Онъ состоитъ изъ трехъ расположенныхъ другъ надъ другомъ рядовъ арокъ, изъ которыхъ верхній рядъ служитъ поддержкой водопроводнаго канала, уровень воды въ которомъ расположенъ на 48 метр. выше наинизшаго уровня рѣки Gardon. Поперечное сѣченіе водопроводнаго канала показано на фигурѣ 292.

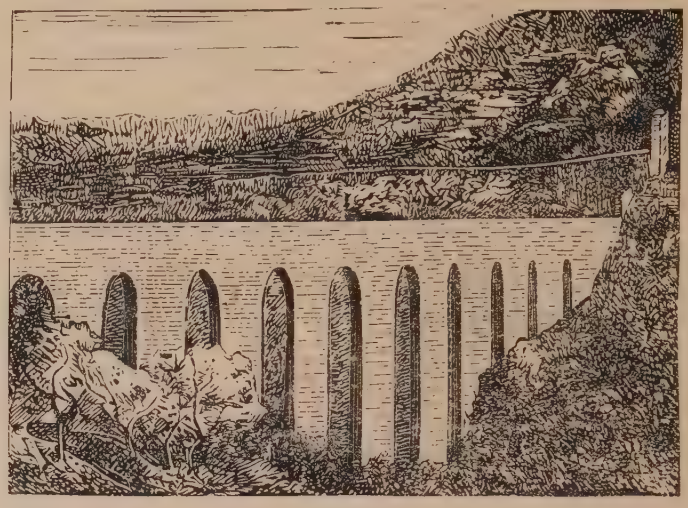
Весьма интересно показанное на чертежѣ отложеніе на стѣнкахъ канала, имѣющее съ обоихъ сторонъ толщину въ 29 сантиметрахъ, такъ что дѣйствительная ширина канала въ свѣту 1,22 метр. уменьшена до 0,64 метр. Нормальный уровень воды доходитъ до 1 метра, и

[1]) Считаемъ нелишнимъ здѣсь замѣтить, что римляне при небольшихъ количествахъ воды, которыя можно было пропускать черезъ спаянныя изъ свинцовыхъ листовъ трубы, замѣняли каменные акведуки болѣе дешевыми сифонами. Арабы рѣдко устраивали дорогіе акведуки, а при переходѣ черезъ долины укладывали толстыя глиняныя трубы діам. до одного метра съ толстой каменной обкладкой кругомъ, причемъ громадныя количества воды направлялись по этимъ трубамъ какъ въ гору, такъ и подъ гору.

при средней скорости въ 0,60 метр. первоначально черезъ каналъ проходило около 732 литр. въ секунду, и это количество, вслѣдствіе уменьшенія поперечнаго сѣченія канала отъ отложеній, постепенно уменьшалось до половины. Каналъ закрытъ каменными плитами.

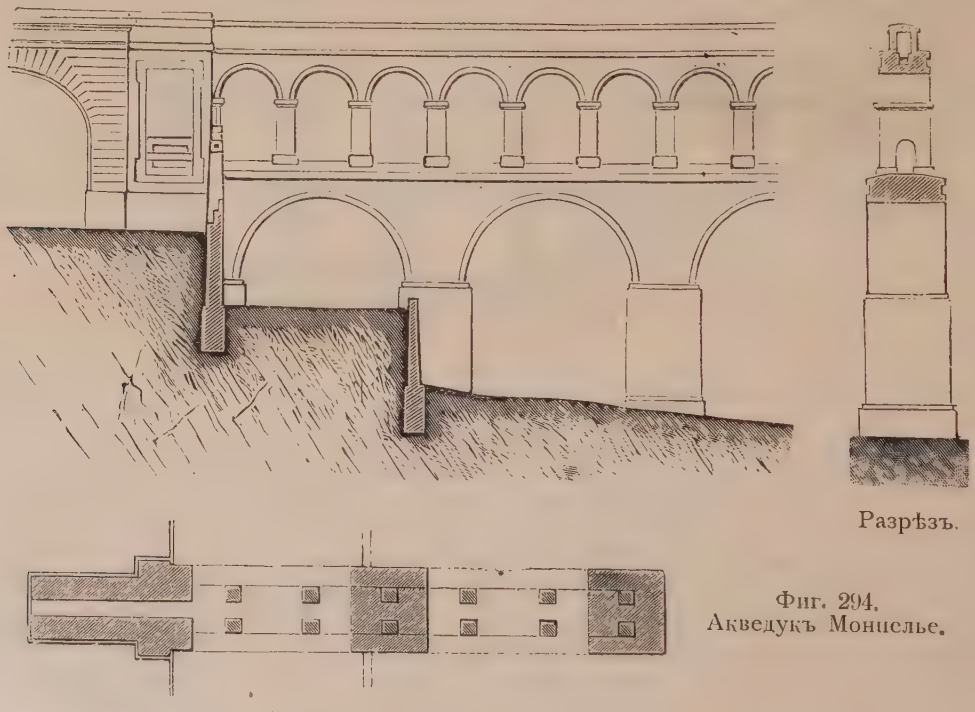


Фиг. 292.



Фиг. 293.

Какъ объ одномъ изъ замѣчательныхъ въ конструктивномъ отношеніи, по значительной нагрузкѣ въ немъ фундаментныхъ устоевъ, древнихъ сооруженій упомянемъ здѣсь объ акведукѣ Сполето, о свойствахъ и видѣ котораго въ древнихъ описаніяхъ приводятся оши-



Разрѣзъ.

Фиг. 294.
Акведукъ Монцелье.

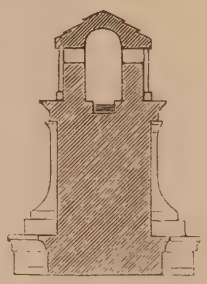
бочныя свѣдѣнія, исправленныя въ послѣднее время. Выполненіе этого сооруженія можетъ считаться образцовымъ по своей простотѣ и цѣлесообразности.

На фигурѣ 293 приведенъ общій видъ этого сооруженія по фотографіи, приведенной Спатаро [1]), при чемъ необходимо замѣтить, что нагрузка на подошву наивысшаго устоя (выс.

[1]) Igiene delle Abitazioni. T. III, ч. II. 1893.

около 77 метр.) составляетъ больше 44 килогр. на 1 кв. сантиметръ. Этотъ акведукъ перекрываетъ долину Тиссино и имѣетъ ширину между устоями около 230 метр.; предполагаютъ, что онъ построенъ Лангобардскимъ королемъ Теодорикомъ въ 741 году.

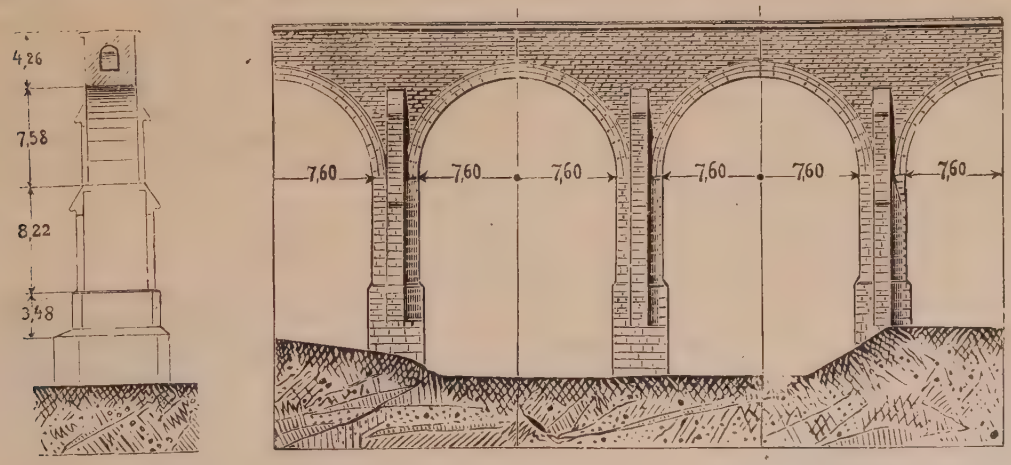
Изъ болѣе новыхъ сооруженій мы приводимъ здѣсь на фигурѣ 294 акведукъ Монпелье, устроенный Пито въ 1752 году. Это богато выполненное сооруженіе представляетъ собой прямоугольный расположенный, въ галлереѣ, каналъ, имѣющій въ свѣту ширину только въ 32 сантиметра и въ вышину 27 сантиметровъ; уровень воды въ немъ обыкновенно подымается до высоты 15 сантиметра. Паденіе канала составляетъ 0,000289 на единицу длины, а количество протекающей черезъ него воды составляетъ около 11 литровъ въ секунду. Акведукъ стоилъ около одного милліона франковъ. Подобнымъ же образомъ устроенъ акведукъ Arcueil, каналъ котораго изображенъ въ поперечномъ разрѣзѣ на фигурѣ 295. Расположенная надъ водянымъ желобомъ галлерея имѣетъ въ свѣту ширину одинъ метръ и высоту два метра.



Фиг. 295. Акведукъ Arcueil.

Незначительныя количества воды, пропускаемыя черезъ эти два дорогихъ сооруженія, можно было бы такъ же цѣлесообразно и во всякомъ случаѣ гораздо дешевле проводить помощью сифоновъ; во время ихъ постройки стоимость ихъ была незначительна, но она не можетъ служить руководствомъ для современныхъ строителей.

Вѣнскій водопроводъ изъ высокихъ ключей, устроенный отъ источниковъ до резервуара у Розенгюгеля въ видѣ открытаго канала, тоже имѣетъ нѣсколько акведуковъ, изъ коихъ наиболѣе выдающіеся суть: при Лэберсдорфѣ (длиною около 285 метровъ съ 20-ю свободно стоящими устоями и одинаковой вышины въ 3,8 метр.), при Баденѣ (длиной около 675 метровъ съ 41 свободно стоящимъ устоемъ, изъ коихъ наиболѣе высокій имѣетъ въ вы-



Фиг. 296. Акведукъ Вѣнскаго водопровода изъ высокихъ ключей.

шину 23 метр.); при Медлингѣ (длин. 190 метр. съ 7-ю свободно стоящими устоями вышиною около 23 метр.); при Лизингѣ (длиною около 665 метр. съ 43-мя свободно стоящими устоями высотою около 17 метр.), при Мауэрѣ (длиною 285 метр. съ 13-ю свободно стоящими устоями высотою около 15 метровъ) и при Шпейзингѣ (длиною 190 метровъ съ 7-ю свободно стоящими устоями высотою около 9.5 метровъ). Поперечное сѣченіе и общій наружный видъ этихъ устроенныхъ изъ камня съ кирпичными сводами акведуковъ показаны на фигурѣ 296. Запрошенная по этому поводу еще до начала постройки въ 1865 году экспертная коммиссія, разсматривая вопросъ о замѣнѣ этихъ сооруженій напорными водоводами (сифонами), высказалась противъ части этихъ акведуковъ слѣдующимъ образомъ:

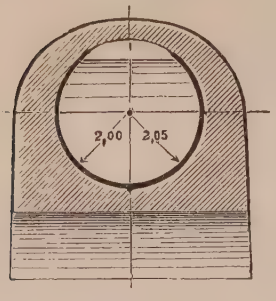
„Возможность значительнаго сбереженія стоимости сооруженія выдвигаетъ на наше усмотрѣніе вопросъ о томъ, не будетъ ли выгоднѣе вмѣсто предполагаемаго перехода черезъ долины устроить переводъ помощью сифонообразныхъ трубопроводовъ, называемыхъ сифонами. Въ виду высказанныхъ здѣсь различныхъ взглядовъ, мы единогласно пришли къ тому

заключенію, что помимо экономическихъ выгодъ, проводу воды черезъ каменные каналы, даже при переходѣ черезъ долины, должно быть отдано предпочтеніе, какъ въ смыслѣ долговѣчности системы, такъ и въ смыслѣ качествъ воды, а при переходѣ долинъ при Лэбесдорфѣ и Шпейзингѣ замѣна акведука сифономъ не даетъ даже никакихъ экономическихъ выгодъ. Наоборотъ, замѣна акведуковъ сифонами при переходѣ долинъ у Мауэра-Лизинга, Медлинга и Бадена (у послѣдняго пункта въ томъ лишь случаѣ, когда на направленіи водовода не встрѣчаются сѣрнистые ключи) представляетъ экономическія выгоды, въ томъ отношеніи, что сифоны легко могутъ конкурировать съ удобствами, доставляемыми каменными каналами, такъ какъ на коротких протяженіяхъ вліяніе чугунныхъ трубъ на качества воды не замѣчается. Стоимость устройства этихъ 4-хъ переходовъ, по смѣтнымъ исчисленіямъ, составляетъ 1603000 гульденовъ. По произведенному нами приблизительному исчисленію оказывается, что устройство сифона вмѣсто предполагаемаго перехода черезъ долину потребуетъ суммы въ 605000 гульденовъ, въ предположеніи, что соотвѣтствующія рѣчныя области будутъ пройдены такимъ же путемъ и такою же системой трубъ, какія предположены для городского трубопровода при рѣчкѣ Вѣнѣ и Дунайскомъ каналѣ. Такимъ образомъ противъ проекта получится сбереженіе въ 998000 или около милліона гульденовъ. Если же ввиду надежности и удобства содержанія сифона требуется, чтобы желобы оставались доступными и въ области долины, то и при сифонной системѣ потребуются мосты, вслѣдствіе чего стоимость сооруженія повысится до 785000 гульденовъ, такъ что сбереженіе противъ проекта ограничится суммой въ 818000 гульденовъ.

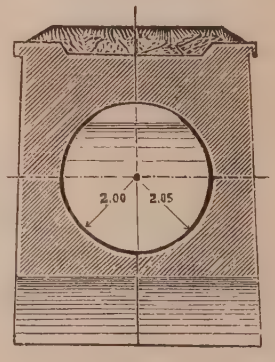
Въ богато устроенномъ акведукѣ у Бадена получится сбереженіе приблизительно въ 278000 гульденовъ, если онъ будетъ устроенъ такимъ же простымъ, какими по проекту предположены остальные акведуки. Тогда излишняя стоимость устройства акведуковъ въ сравненіи со стоимостью сифоновъ составитъ только 720000 или соотвѣтственно 540000 гульденовъ. Примѣненіе сифоновъ даетъ потерю паденія на направленіи провода въ 8,3 фут. (2,62 метр.), которая можетъ быть восполнена тѣмъ, что водоводъ будетъ направленъ съ соотвѣтствующимъ паденіемъ безъ устройства проектированнаго подъ переходомъ долины у Лэбердорфа обрыва въ 8,6 футъ (2,72 метр.), и что предположенный по проекту обрывъ въ 4 фута (1,26 метр.) при впаденіи канала въ резервуаръ у Розенгюгеля, признаваемый нами ненужнымъ, будетъ примѣненъ для сифона. Во всякомъ случаѣ здѣсь потребуется направленіе водовода отъ Лэбердорфа и измѣненіе смѣтной стоимости; впрочемъ послѣдняя не настолько измѣнится, чтобы сильно измѣнить вышеприведенныя приблизительныя исчисленія сбереженій.“

Экспертная коммиссія, такимъ образомъ, предложила не строить соотвѣтствующихъ акведуковъ, а замѣнить ихъ сифонами.

Водопроводная коммиссія, наоборотъ, вычислила, что устройство сифона, уложеннаго подъ рѣчными руслами долинъ, дастъ сбереженіе по сравненію съ устройствомъ акведуковъ въ 410000 гульденовъ, а устройство сифона съ мостами надъ рѣчными руслами долинъ дастъ сбереженіе въ сравненіи съ устройствомъ акведуковъ не больше 230600 гульденовъ. Изъ-за этой суммы коммиссія не признала нужнымъ отступить отъ проектированной наиболѣе раціональной системы. Въ дѣйствительности поэтому были устроены акведуки.



Фиг. 297.



Фиг. 298.

Величественные ключевые водопроводы изъ Дюи (оконченный въ 18°5г.) и изъ Vanne (оконченный въ 1874 г.), построенные Бельграномъ для водоснабженія Парижа представляютъ собой весьма раціональную комбинацію открытыхъ водоводовъ съ акведуками и напорными трубоводоводами (сифонами). При каждомъ переходѣ черезъ долину здѣсь тщательно опредѣлялось, какая изъ обѣихъ системъ, акведука или напорнаго трубоводовода (сифона), оказывается наиболѣе раціональной, т. е. наиболѣе дешевой при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ. По мѣстнымъ условіямъ во многихъ мѣстахъ требовалось поддерживать трубопроводы помощью отдѣльныхъ мостовъ, какъ мы это увидимъ ниже. Нижнее строеніе и расположенный надъ нимъ открытый каналъ устраивались сплошь изъ бетонной кладки; на ф. 297 приведенъ

поперечный разрѣзъ канала въ вершинѣ моста. Стремленіе къ возможному удешевленію постройки привело къ теоретически вполнѣ совершенной конструкціи покрытія канала, которая казалось, отличалась значительными преимуществами предъ прежними дорогими перекрытіями. Но вскорѣ оказалось, что подъ вліяніемъ морозовъ и жаровъ эти перекрытія дали обильныя трещины, которыя не могли быть устранены никакими принятыми противъ нихъ мѣрами, какъ напр. поливаніемъ покрытій водой въ лѣтнее время, побѣлкой ихъ известковымъ молокомъ для уменьшенія поглощенія ими лучистой теплоты и т. д. Оставалось только измѣнить ихъ согласно показанному на фиг. 298. Сравнительно тонкій слой земли надъ сводомъ, поддерживаемый двумя крыльями, составляетъ крупный недостатокъ этого сооруженія.

Вообще опытъ со всѣми каменными акведуками показалъ, что малыя и большія трещины въ каменной кладкѣ при нашемъ климатѣ являются неизбѣжными. Этотъ недостатокъ обнаружился также въ образцово солидно построенномъ Вѣнскомъ водопроводѣ изъ высокихъ ключей. Для устраненія просачиванія воды черезъ эти трещины въ Вѣнѣ примѣняется новое средство—бошинъ, представляющій собой особый видъ раствора асфальта и каучука, которымъ покрываются стѣнки акведука для придаванія имъ водонепроницаемости.

Техническій опытъ показалъ, что акведуки могутъ быть устроены безо всякихъ недостатковъ тамъ, гдѣ проходящая по каналу вода находится въ *постоянномъ движеніи*. Въ тѣхъ случаяхъ, когда она временами приходитъ въ состояніе покоя, является опасность отъ ея замерзанія зимой и отъ слишкомъ сильнаго ея нагрѣванія лѣтомъ. Послѣдствія этихъ явленій обнаруживаются поврежденіями водопроводнаго канала и непріятнымъ вкусомъ подогрѣтой водопроводной воды. Акведуки лучше всего сохраняются во влажномъ климатѣ съ небольшими колебаніями температуры воздуха. Надъ уровнемъ воды въ акведукахъ долженъ свободно циркулировать вездухъ, вслѣдствіе чего часто устраиваются отдѣльныя отверстія или даже особыя приспособленія для всасыванія и выталкиванія воздуха (ср. ф. 295 и гл. 5). При опредѣленіи водяного поперечнаго сѣченія акведука необходимо принять въ соображеніе отложенія и осадки на стѣнкахъ и подошвѣ. Въ послѣднее время часто пользуются мостовыми фермами, существующихъ мостовъ для подвѣшиванія къ нимъ водяныхъ желобовъ. И подобныя сооруженія носятъ названіе акведуковъ.

Статическій разсчетъ акведуковъ производится такъ-же, какъ и разсчетъ мостовъ; добавочной максимальной нагрузкой считается вѣсъ воды и проводовъ вмѣстѣ съ временной нагрузкой отъ снѣга и рабочихъ, которые должны находиться на акведукѣ въ случаѣ его исправленія. Нагрузка каменной кладки устоевъ должна соотвѣтствовать примѣненному строительному матеріалу; въ этомъ случаѣ можно совѣтовать не допускать нагрузки выше 6 до 10 килогр. на 1 кв. сантим. Мы здѣсь не входимъ въ подробныя вычисленія различныхъ конструкцій, составляющія предметъ строительной механики.

Если акведукъ устраивается изъ бутовой кладки, то для прочности сооруженія наружныя плоскости должны быть сплошь облицованы тесаными камнями съ правильной перевязкой швовъ; въ кирпичныхъ сооруженіяхъ наружныя поверхности должны быть выложены изъ хорошо обожженнаго кирпича. Каменная кладка для прочности не должна имѣть снаружи никакихъ выступающихъ карнизовъ, украшеній и проч.; швы должны быть раздѣланы цементнымъ растворомъ. Бетонъ началъ примѣняться для устройства акведуковъ въ послѣднее только время. Первый примѣръ подобнаго рода акведуковъ представляетъ собой акведукъ изъ Лима въ Испаніи (два ряда арокъ высот. около 26 метр., шир. 4 метр. и длин. 67 метр.), сердечникъ котораго сдѣланъ изъ бетона и снаружи облицованъ тесанымъ камнемъ. Бетонъ нашелъ себѣ обширное примѣненіе при устройствѣ акведуковъ Vanne и Dhuis (въ Парижѣ), въ которыхъ до сихъ поръ никакихъ чувствительныхъ недостатковъ не наблюдалось. Перекрытіе водяныхъ желобовъ производится обсыпанными землей сводами (стр. фиг. 298) или, при желобахъ небольшой ширины каменными плитами. Толщина замка свода берется обыкновенно въ $^1/_5$ до $^1/_8$ ширины пролета (въ свѣту). Самъ желобъ оштукатуривается слоемъ цемента (смѣсь изъ 1 ч. цемента, 2—$2^1/_2$ ч. крупнаго песку съ небольшимъ количествомъ известковаго молока) толщ. 2 до 3 сантиметр.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ здѣсь упомянуть о томъ, что для нѣкоторыхъ строителей весьма заманчиво выставлять на показъ результаты своего творчества въ видѣ такихъ величественныхъ сооруженій, какъ акведуки, а не зарывать ихъ въ землю, дѣлая ихъ невидимыми для глазъ; тѣмъ не менѣе мы считаемъ совершенно излишнимъ потворствовать подобнымъ побужденіямъ, если это связано съ *ненужными лишними затратами* на сооруженіе, дѣлаемыми изъ общественныхъ средствъ.

Общія соображенія, которыми слѣдуетъ предварительно руководствоваться при выборѣ между открытыми и напорными проводами, изложены нами выше (см. гл. 3). Детальное разсмотрѣніе конкурсныхъ проектовъ почти безъ исключенія укажетъ на преимущества открытыхъ канавъ и каналовъ для ровныхъ, плоскихъ мѣстностей. Опредѣленіе направленія открытаго водовода на ровной мѣстности не представляетъ никакихъ затрудненій; въ гористыхъ и холмистыхъ мѣстностяхъ необходимо разсмотрѣть, не представляется-ли возможнымъ путемъ глубокихъ земляныхъ выемокъ или туннелей укоротить слишкомъ длинную линію провода по склонамъ горъ, и требуетъ-ли желобъ, и въ какихъ именно мѣстностяхъ, искусственныхъ укрѣпленій (для предохраненія его отъ дѣйствія быстрыхъ ручьевъ, обваловъ земли, движенія подпочвы и проч.). Затѣмъ необходимо опредѣлить наименьшій допускаемый радіусъ закругленія на направленіи канала, зависящій въ значительной степени отъ размѣровъ канала, и проч. Кромѣ того необходимо составить профили мѣстности, условія отчужденія, а также и произвести изслѣдованія почвы.

Предварительное рѣшеніе вопроса сильно упрощается, если частное отъ раздѣленія всего паденія H между источникомъ и мѣстомъ пользованія водой на разстояніе L между этими пунктами переходитъ за извѣстный предѣлъ. Въ этомъ случаѣ получается наибольшее возможное паденіе уровня или линіи напора $\alpha = \frac{H}{L}$; если черезъ u обозначимъ скорость движенія воды въ напорномъ водоводѣ круглаго сѣченія съ діаметромъ $D = 2R$, то по приведеннымъ ниже (см. отд. IV, гл. 9 и 10) уравненіямъ, получаемъ

$$R = \frac{u^2}{0{,}707^2\, k^2\, \alpha}, \quad D = \frac{2\,u^2}{0{,}707^2\, k^2\, \alpha}.$$

Выше мы замѣтили, что въ чугунныхъ или вообще въ желѣзныхъ трубахъ скорость воды должна быть не меньше 0,40 метр. въ секунду; для удовлетворенія этому условію должно быть:

$$3)\quad D' \geqq \frac{2 \,.\, 0{,}4^2}{0{,}707^2 \,.\, k^2 \,.\, \alpha} \geqq \frac{0{,}64}{k^2\, \alpha}.$$

Первое приблизительное значеніе D' получается при $k = 50$; затѣмъ величина k можетъ быть опредѣлена точнѣе, и повторными вычисленіями величина D' можетъ быть опредѣлена съ произвольной степенью точности.

Эти-же соображенія даютъ предѣлъ протекающаго количества воды, а именно: если величина u должна быть $= 0{,}4$ метр., то

$$4)\quad Q \geqq 0{,}4\,\frac{\pi\, D^2}{4} \geqq 0{,}31416\, D^2.$$

Такимъ образомъ, для каждой величины α получается наибольшее допускаемое значеніе величины D' діаметра желѣзнаго трубопровода и количества протекающей по немъ воды. Если предѣльное значеніе, т. е. наименьшій допускаемый діаметръ D', превышаетъ обыкновенно принятые въ практикѣ размѣры, то остается только отказаться отъ устройства напорнаго водовода при этомъ значеніи α; точно также невозможно по напорному водоводу провести количество воды Q', меньшее полученнаго по ур. 4) при опредѣленной величинѣ α, при сохраненіи условія $u = 0{,}4$ метр. Но по трубопроводу діаметромъ больше D' при данномъ α можно провести со скоростью, большею 0,4 метр. большее количество воды Q'.

Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены предѣльныя величины діаметра, паденія и количества воды, соотвѣтствующія ур. 3) и 4) при знакѣ равенства въ каждомъ изъ нихъ.

α	D миллим.	Q литр.	α	D миллим.	Q литр.	α	D миллим.	Q литр.
0,00422	100	3	0,000433	450	64	0,000195	800	201
0,00222	150	7	0,000373	500	79	0,000184	850	227
0,00143	200	13	0,000326	550	95	0,000166	900	254
0,00100	250	19	0,000289	600	113	0,000153	950	283
0,00077	300	28	0,000259	650	133	0,000139	1000	314
0,00062	350	40	0,000233	700	154	0,000125	1100	380
0,00050	400	50	0,000212	750	177	0,000114	1200	453

Изъ этой таблицы мы видимъ, что пока желѣзныя трубы изготовляются только діам. до 1200 миллим., устройство открытаго провода потребуется, какъ только паденіе будетъ меньше 0,000114 (около 1 : 8000). Если трубы изготовляются діаметромъ только до 1000 миллим., то предѣлъ наименьшаго паденія лежитъ при 0,000139 (около 1 : 7200) и т. д.

Если въ распоряженіи имѣется, напр., паденіе въ 0,00100, то трубопроводъ діам. 250 милл. пропускаетъ 19 литр. воды въ секунду. Если черезъ трубопроводъ будемъ пропускать меньшее количество воды, то при томъ же α получается скорость воды, меньшая 0,4 метр. даже и тогда, когда соотвѣтственно этому меньшему количеству воды будетъ принятъ меньшій діаметръ трубопровода. Наоборотъ, черезъ трубопроводъ бо́льшаго діаметра при томъ же α можно пропускать бо́льшее количество воды, какъ напр. при діаметрѣ 450 миллим. количество воды будетъ 97 литр. въ секунду со скоростью 0,61 метр., и т. д.

Считаемъ полезнымъ привести здѣсь числовыя значенія α для нѣкоторыхъ существующихъ каменныхъ акведуковъ.

Акведукъ Вѣны (среднее) . . . . . $\alpha = 0{,}00322$
„ Claudia (Римъ) . . . . . $\alpha = 0{,}00300$
„ Mont Pyla (Ліонъ) . . . . . $\alpha = 0{,}00167$
„ Метцъ (стар. римскій) . . . . . $\alpha = 0{,}00100$
„ Areueil (Парижъ) . . . . . $\alpha = 0{,}000417$
„ Nimes (стар. римскій) . . . . . $\alpha = 0{,}000400$
„ Рекенкуръ (Версаль) . . . . . $\alpha = 0{,}000294$
„ Монпелье . . . . . $\alpha = 0{,}000289$
„ Марція (Римъ) . . . . . $\alpha = 0{,}000250$
„ Казерта (Неаполь, древній) . . . . . $\alpha = 0{,}000208$
„ Dhuis и Vanne (Парижъ) . . . . . $\alpha = 0{,}000100$

Нетрудно видѣть, что напр. Вѣнскій акведукъ, среднее паденіе котораго составляетъ $\alpha = 0{,}00322$, могъ бы пропускать количество воды 1300 литр. въ секунду по трубѣ діам. 1000 милл. или по двумъ трубамъ діам. по 750 миллиметр. Здѣсь такимъ образомъ еще возможенъ напорный водоводъ, если другія обстоятельства этому не препятствуютъ. Наоборотъ, напорный водоводъ совершенно исключается при акведукахъ Dhuis и Vanne съ паденіемъ $\alpha = 0{,}000100$, такъ какъ при этомъ паденіи, пока скорость должна оставаться $u \geqslant 0{,}4$ метр., рѣшеніе вопроса невозможно, какъ съ одной трубой въ 1200 миллим., такъ и съ нѣсколькими трубами меньшихъ діаметровъ. Такимъ образомъ напорные водоводы (сифоны) діам. въ 1000, или 1200 миллим., допускаемые здѣсь при отдѣльныхъ переходахъ долинъ, всегда имѣютъ большее паденіе ($\alpha = 0{,}0005$ до $0{,}0006$).

Вышеприведенныя разсужденія во многихъ случаяхъ могутъ служить руководствомъ для весьма подробныхъ и обстоятельныхъ сравненій. Бываютъ, наоборотъ, многіе случаи, гдѣ, какъ было указано выше, предварительно можно утверждать, что устройство напорнаго водовода представляетъ собой единственное удовлетворительное рѣшеніе задачи. Тѣмъ не менѣе во многихъ случаяхъ правильный выборъ между открытымъ и напорнымъ водоводомъ можетъ быть сдѣланъ лишь путемъ тщательныхъ сравнительныхъ исчисленій.

При этихъ сравнительныхъ исчисленіяхъ невозможно совершенно исключить извѣстный произволъ, иногда приводящій инженера къ подозрѣнію, что для проведенія того или другого взгляда онъ съ одной стороны пренебрегаетъ нѣкоторыми затрудненіями, а съ другой придаетъ имъ слишкомъ много значенія. Поэтому подобныя тщательныя изученія крупныхъ сооруженій требуютъ раздѣленія труда и разрѣшенія вопроса путемъ экспертизы для нахожденія правильнаго его рѣшенія.

Весьма важную роль играетъ примѣняемый для устройства открытаго водовода строительный матеріалъ, отъ выбора котораго зависитъ большая или меньшая стоимость сооруженія. При выборѣ матеріала руководствуются различными соображеніями. При открытыхъ канавахъ нѣкоторыя сомнѣнія могутъ вызвать: потребная ввиду удобной чистки наименьшая ширина канала, устройство откосовъ, необходимость облицовки откосовъ и проч.; первая обыкновенно принимается въ 0,5 метр., а для откосовъ берется отъ полуторнаго до двойного заложенія. Спрашивается, отчего не принять соотвѣтственно 0,4 метр. и 1,6-и кратное заложеніе, если этимъ достигается нѣкоторое сбереженіе? При закрытыхъ каналахъ подобныя же соображенія являются относительно ихъ долговѣчности. Авторъ знаетъ различныхъ выдающихся инженеровъ, которые не рекомендуютъ ни бетонныхъ сооруженій, ни системы Монье, между тѣмъ какъ другіе охотно строятъ изъ этихъ матеріаловъ. Если вопросъ идетъ объ укладкѣ бетонныхъ или гончарныхъ трубъ, то здѣсь играютъ роль соображенія относительно врастанія корней [1]).

Иногда надобность въ глубокихъ выемкахъ и туннеляхъ вызывается желаніемъ сообщать водѣ теплоту отъ земли и предохранять ее отъ замерзанія, какъ это необходимо при чередованіи открытыхъ и закрытыхъ участковъ водовода; но съ другой стороны противъ этихъ мѣръ говоритъ значительная ихъ стоимость, если она не можетъ быть уменьшена путемъ не слишкомъ длинныхъ обходовъ. При этомъ еще приходится рѣшить вопросъ о томъ, что безусловно необходимо и что является только желательнымъ, если оно выполнимо при небольшихъ затратахъ; по этому вопросу во многихъ случаяхъ взгляды расходятся, и для его рѣшенія требуется авторитетное вмѣшательство.

Общія данныя о видѣ употребляемыхъ профилей приведены нами выше (см. гл. 3). Здѣсь считаемъ нелишнимъ присовокупить, что относительно принимаемой въ разсчетъ степени шероховатости мокраго периметра открытыхъ водоводовъ (см. отд. IV, гл. 8) могутъ получаться различныя мнѣнія, служащія къ увеличенію или къ уменьшенію стоимости проводовъ. Разрѣшить эти вопросы мы, конечно, здѣсь не можемъ. Тѣмъ не менѣе при существованіи явныхъ при-

[1]) Для предупрежденія подобнаго врастанія корней авторъ съ успѣхомъ употребляетъ для уплотненія стыковъ гончарныхъ трубъ вмѣсто обыкновенно употребляемой глины смѣсь изъ глины и каменноугольной смолы въ пропорціи 2:1

чинъ появленія шероховатости отшукатуренныхъ цементомъ стѣнокъ каналовъ слѣдуетъ въ формулу, выражающую высоту напора, соотвѣтствующую сопротивленію тренія (см. отд. IV, гл. 8), ввести данныя категоріи V или IV или-же по меньшей мѣрѣ категоріи IV, для которой вычислены таблицы (см. отд. IV, гл. 10). Точно также обильное снабженіе каналовъ промежуточными пріемниками, шлюзовыми спусками и проч. оказываетъ весьма существенное вліяніе на стоимость каналовъ. Наконецъ, не слѣдуетъ упускать изъ виду, что при сравнительномъ исчисленіи стоимостей не малую роль играетъ также капитализированная стоимость обслуживанія канала, которая вообще для хорошо построенныхъ открытыхъ каналовъ сравнительно невелика, но которая точно не можетъ быть опредѣлена. Обыкновенно стоимость обслуживанія принимается въ $^1/_2$ до $1^0/_0$ общей затраты на устройство канала; но точнѣе будетъ опредѣлять этотъ расходъ не на основаніи общаго соображенія, а сообразно дѣйствительной стоимости, согласно служебной инструкціи надзирающему персоналу.

Относительно напорныхъ водоводовъ прежде всего необходимо опредѣлить, требуется ли въ интересахъ надежности службы устройство двухъ проводовъ, или же можно удовольствоваться однимъ только проводомъ (см. выше). Если доставка воды къ снабжаемой мѣстности обезпечена приблизительно на 24 часа помощью резервуара, запаснаго насоса и пр., то можно считать вполнѣ достаточнымъ одного провода. Только въ случаѣ весьма серьезнаго поврежденія исправленіе провода потребуетъ больше 24 часовъ времени, а подобныя поврежденія при внимательномъ присмотрѣ за проводомъ, какъ показалъ опытъ, происходятъ въ высшей степени рѣдко. Даже если бы оказалось необходимымъ (какъ напр. при небольшихъ резервуарахъ) въ теченіи этихъ 24 часовъ ограничить расходъ воды въ снабжаемой мѣстности, то это неудобство все-таки окажется менѣе ощутительнымъ, нежели послѣдствія отъ полуторной затраты на двойной проводъ. Кромѣ того, два провода ни въ какомъ случаѣ не предотвращаютъ опасности отъ перерыва въ работѣ, преимущественно если они уложены рядомъ другъ съ другомъ, какъ это обыкновенно имѣетъ мѣсто при такъ называемомъ сифонѣ, и какъ это вообще иначе не можетъ быть сдѣлано безъ черезмѣрныхъ затратъ; въ обоихъ проводахъ одновременно могутъ оказаться течи, по одинаковой ли причинѣ (напр. при одновременномъ поврежденіи обоихъ), или же вслѣдствіе подмыва подошвы и образованія поврежденія въ одномъ проводѣ вслѣдствіе течи въ другомъ.

Въ отд. II, гл. 9 и 10 нами приведены конструктивныя свѣдѣнія относительно обыкновенно встрѣчаемыхъ методовъ водоснабженія. Въ рѣдкихъ случаяхъ недостатокъ воды въ городскомъ водопроводѣ въ теченіе короткаго времени вызываетъ что-либо иное, кромѣ нѣкотораго временнаго неудобства.

Такимъ образомъ при обыкновенныхъ условіяхъ устраивается единичный проводъ. Исключенія составляютъ лишь тѣ случаи, когда въ трубахъ существуютъ весьма большія давленія, и черезъ нихъ пропускаются значительныя количества воды. При примѣненіи чугунныхъ трубъ, изготовленныхъ по нормальнымъ размѣрамъ (выработаннымъ Обществомъ Германскихъ инженеровъ и почти повсюду принятымъ), надлежащее уплотненіе стыковъ соотвѣтственно большому давленію воды въ трубахъ является уже затруднительнымъ, если внутренній размѣръ трубъ превышаетъ 500 миллим. Если же желаютъ изготовить исключительныя прочныя трубы съ другими соединеніями, отличными отъ нормальныхъ, то стоимость моделей, большій вѣсъ трубъ и проч. потребуютъ боль-

шей строительной суммы, нежели устройство двухъ трубопроводовъ изъ трубъ нормальныхъ моделей; въ такомъ случаѣ чисто практическія соображенія укажутъ на преимущества послѣдней системы.

При сравнительныхъ исчисленіяхъ стоимости проекта открытаго главнаго провода и проекта напорнаго водовода или при комбинаціи обѣихъ системъ водопроводовъ во многихъ случаяхъ главную роль играетъ вопросъ о томъ, долженъ ли быть устроенъ переходъ черезъ долину помощью закрытаго водовода, уложеннаго на искусственныхъ подставкахъ, или же уложеннаго просто въ землѣ. Въ послѣднемъ случаѣ часто являются затрудненія при укладкѣ трубопровода. Если, напр., долина пересѣкается быстрыми ручьями, большими рѣками съ обширными областями разливовъ, мощными грунтовыми потоками и проч., то подкапываніе рѣкъ и укладка провода въ грунтовой водѣ бываетъ весьма ненадежно и въ рѣдкихъ случаяхъ дешевле устройства пересѣкающаго всю долину или часть ея моста для поддержанія или помѣщенія трубъ.

Укладка трубъ въ грунтовой водѣ бываетъ дороже, если для большей надежности дѣйствія требуется укладывать трубы въ доступныхъ галлереяхъ; отводъ воды во время постройки и т. под. вспомогательныя работы вызываютъ чрезмѣрно значительныя затраты. Между тѣмъ устройство оказывается гораздо дешевле, если проводъ можетъ быть уложенъ безъ галлереи прямо въ землѣ или подъ дномъ рѣки (сифонъ). Впрочемъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда долина пересѣкается большими судоходными рѣками, требующими высокихъ пролетовъ мостовъ, такъ что при примѣненіи мостовъ ось трубы должна быть расположена на такой высотѣ, которая не допускается имѣющимся въ распоряженіи напоромъ, укладка трубъ въ землѣ является неизбѣжной.

Если возможно устройство моста для трубъ безъ значительной высоты устоевъ, или если допускается проведеніе трубопровода по существующему мосту или подвѣшиваніе его, то этому рѣшенію вопроса слѣдуетъ отдавать предпочтеніе, даже при одинаковой или немного большей стоимости, такъ какъ этимъ облегчается доступъ къ трубопроводу, чѣмъ достигается надежность его дѣйствія. Каменнымъ мостамъ при всѣхъ обстоятельствахъ должно быть отдано преимущество предъ различными желѣзными конструкціями подставокъ для трубъ, такъ какъ поддерживающія части первыхъ меньше подвержены колебаніямъ (вибраціямъ), удлиненіямъ и укорачиваніямъ подъ вліяніемъ температуры и проч. Если мосты не слишкомъ длинны, то при постоянномъ теченіи воды по трубопроводу не требуется никакихъ особыхъ предохраненій отъ морозовъ и жаровъ. Если, наоборотъ, возможна остановка воды въ трубопроводѣ, то для предохраненія трубопровода отъ вреднаго дѣйствія мороза требуется весьма значительная земляная покрышка (не меньше 1,5 метр.). Въ тѣхъ случаяхъ, когда устройство подобной покрышки оказывается невозможнымъ, необходимо во время морозовъ обезпечить постоянное теченіе воды по трубопроводу, какъ, напр., открытіемъ спускныхъ приспособленій и проч.; всякія другія мѣры, какъ напр. обертываніе трубъ дурными проводниками теплоты и проч., почти всѣ оказываются недѣйствительными. При желѣзныхъ мостахъ трубопроводъ долженъ быть уложенъ на каткахъ для возможности нѣкотораго его перемѣщенія, вызываемаго измѣненіемъ температуры (ср. фиг. 308).

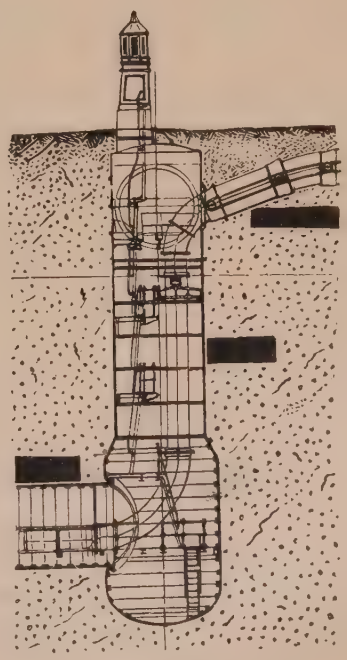
Переходы черезъ шоссейныя и желѣзныя дороги, судоходные каналы и проч. должны быть по возможности устроены помощью трубныхъ мостовъ, а не

подземныхъ переходовъ (сифоновъ), такъ какъ могущія случиться изломы трубъ въ первомъ случаѣ представляютъ собой меньше опасности для пересѣкаемаго мѣста, нежели во второмъ.

Простые сифонные трубопроводы, не уложенные въ галлереяхъ, устраиваются или изъ желѣзныхъ клепаныхъ трубъ или изъ чугунныхъ съ подвижными соединеніями. При укладкѣ трубопровода подъ дномъ рѣки готовый трубопроводъ укладывается на деревянныхъ подмостяхъ; затѣмъ въ ложѣ рѣки выкапываютъ (землечерпательной машиной) канаву, въ которую опускаютъ трубопроводъ съ подмостей. Частичное наполненіе трубъ водой съ цѣлью болѣе легкаго ихъ погруженія нельзя совѣтовать, такъ какъ при не совсѣмъ горизонтальномъ положеніи трубъ получается колеблющаяся нагрузка.

Правильное положеніе трубъ можетъ быть опредѣлено водолазомъ. При небольшихъ рѣкахъ и ручьяхъ очень часто оказывается возможнымъ путемъ отвода воды получать совершенно сухія канавы, и въ подобныхъ случаяхъ этотъ способъ заслуживаетъ преимущества. Тамъ, гдѣ это возможно, слѣдуетъ поддерживать трубы помощью поперечинъ, насаженныхъ на сваи (ср. водоснабженіе Фрейбурга). Если есть основаніе опасаться промоинъ въ руслѣ рѣки въ мѣстѣ укладки трубъ, то необходимо устроить укрѣпленіе подошвы (нары). Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для предохраненія трубъ отъ поврежденія онѣ обкладываются бетономъ, какъ это напр. сдѣлано въ сифонномъ трубопроводѣ изъ р. Сены на мосту Alma (въ Парижѣ). Само собой разумѣется, что для укладки трубъ должно быть выбрано время, когда нѣтъ половодья и ледохода; для водолазныхъ работъ температура воды не должна быть ниже 9—10° С. Въ уменьшеніи діаметровъ трубъ нѣтъ никакой необходимости; желѣзныя клепаныя трубы весьма удобно могутъ укладываться еще при діаметрѣ въ 2 метра.

При пересѣченіи проѣзжихъ дорогъ (желѣзныхъ дорогъ) трубопроводомъ, уложеннымъ подъ землей, почти всегда безъ исключенія соотвѣтствующими властями ставится условіе, чтобы водопроводная труба была уложена въ галлереѣ, которая должна быть устроена согласно вышеприведеннымъ профилямъ (ср. преимущественно ф. 255 и 372). Такія же профили могутъ быть примѣнены для перехода подъ землей открытыми водоводами (каналами-сифонами), причемъ съ правой и лѣвой стороны пересѣкаемаго мѣста необходимо должны быть устроены переходныя шахты. Во всякомъ случаѣ внутреннія стѣнки сифона подвержены давленіямъ, которыя хорошая каменная кладка или сооруженія изъ бетона или системы Монье выдерживаютъ еще совершенно безопасно. Обшивка системы Монье можетъ даже выдерживать значительныя давленія воды и въ этомъ случаѣ оказывается весьма полезной.



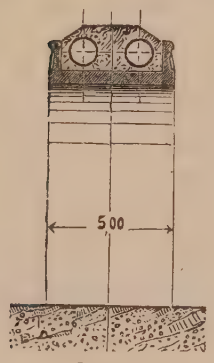
Фиг. 299.

Если для достиженія надежности дѣйствія желательно сдѣлать доступными и водоводы, уложенные подо дномъ рѣки, то получаются очень дорогія въ большинствѣ случаевъ трубныя галлереи. Подобное сооруженіе представляетъ собой сифонъ подъ рѣкой Drac въ Греноблѣ, состоящій изъ двухъ напорныхъ трубъ діам. по 700 миллиметр., уложенныхъ въ эллиптическомъ, поставленномъ на малой оси, каналѣ шир. 3 метр. и высот. 1,8 метр. съ каменными, стѣнками толщ. 400 миллим. Въ послѣднее время при водоснабженіи Ливерпуля устроено подобное грандіозное сооруженіе, показанное на фиг. 299. Въ туннели круглаго сѣченія наружн. діам. 3 метр. и длин. 240 метр. на поперечинахъ уложены двѣ трубы діам. по 800 миллим.; туннель, проходящій подъ рѣкой Mersey, состоитъ изъ чугунныхъ, соединенныхъ на флянцахъ, сегметновъ съ толщ. стѣнокъ въ 18 миллим. и помощью двухъ насосовъ, автоматически дѣйствующихъ поступающей въ нихъ изъ шахты напорной водой, всегда откачивается до суха. Исполненіе этой работы было весьма трудно и стоило очень дорого.

На фиг. 300 показана конструкція моста для трубопровода, исполненная Бельграномъ въ водопроводѣ изъ Vanne (Парижъ) при переходѣ долины Іонны. Здѣсь трубы лежатъ на

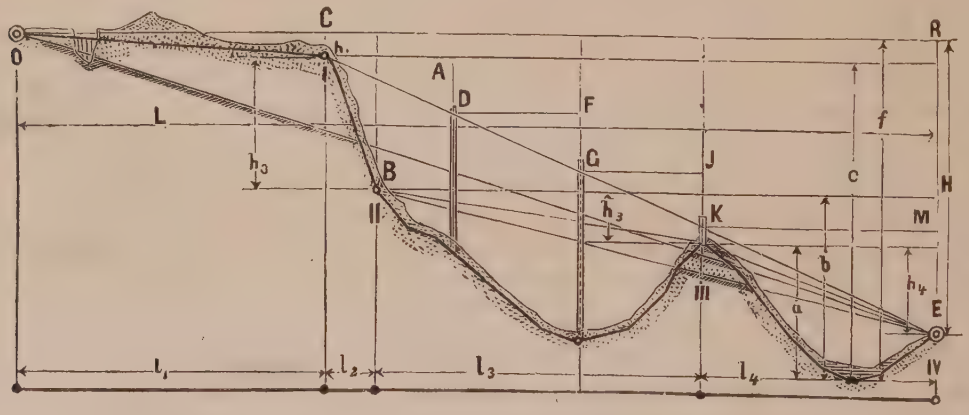
бетонномъ мосту, пересѣкающемъ долину по длинѣ около 1,5 километр. При такой значительной длинѣ признали необходимымъ устроить надъ трубами земляную предохранительную перекрышку. Другой подобный же трубопроводный мостъ (Loing) того же водопровода длин. только 0,5 километр. оставленъ открытымъ; здѣсь трубы только окрашены въ бѣлый цвѣтъ для предохраненія ихъ отъ дѣйствія лучей солнца, т. е. для возможнаго ограниченія повышенія температуры воды.

Выше (см. гл. 3) мы разсмотрѣли общія свѣдѣнія объ устройствѣ водоводовъ и привели формулы для опредѣленія рабочей высоты напора, требуемаго для образованія движенія воды, а также и указали вліяніе ширины и длины водовода и высоты напора на стоимость линіи водопровода. Затѣмъ мы опредѣлили размѣры, которые должны имѣть напорные трубопроводы для дѣйствія насосовъ при наименьшей ихъ стоимости; наконецъ, въ отд. II гл. 10 мы привели вычисленія для опредѣленія наиболѣе цѣлесообразнаго расположенія начала главнаго провода, открытаго или напорнаго, при свободномъ выборѣ мѣста добыванія воды. Разсмотримъ теперь нѣкоторыя практическія соображенія при устройствѣ главныхъ проводовъ вообще и при произвольномъ видѣ профили мѣстности.



Фиг. 300.

Первое правило состоитъ въ томъ, что въ то время какъ въ открытыхъ каналахъ уровень воды всегда совпадаетъ съ линіей дѣйствительныхъ высотъ напора, въ напорныхъ водоводахъ послѣдняя линія всегда должна быть расположена надъ осью трубы, если въ трубѣ должно существовать давленіе, не ниже атмосфернаго.



Фиг. 301.

Состояніе воды въ трубѣ при превышеніи оси трубы надъ линіей высотъ напора будетъ нами разсмотрѣно ниже (см. отд. IV, гл. 13).

Вообразимъ себѣ продольную профиль, получаемую при условіяхъ, показанную на фиг. 301, и разсмотримъ, какимъ образомъ здѣсь долженъ быть устроенъ главный проводъ. Прежде всего мы видимъ, что здѣсь нерацiонально выбрать линію высотъ напора по прямой, проведенной отъ уровня воды въ сборной камерѣ O къ уровню воды E въ резервуарѣ и придавать главному проводу одинаковый діаметръ по всей его длинѣ, сообразно сказанному выше см. гл. 4). Эта линія въ участкѣ между O и C расположена настолько ниже по-

верхности земли, что на этомъ протяженіи откопка выемки для трубы оказывается невозможной, а для возможности укладки трубы необходимо проложить туннель. Затѣмъ линія высотъ напора глубоко пересѣкаетъ горный хребетъ III, такъ что и здѣсь для укладки трубы требуется туннель, или по меньшей мѣрѣ весьма глубокая и дорогая выемка. Очевидно, что такое направленіе трубы менѣе раціонально, нежели укладка открытаго или закрытаго водовода отъ O къ C (I) а отсюда къ (E) IV, и еще тѣмъ болѣе, что въ наиболѣе глубокой точкѣ провода будетъ имѣть мѣсто наибольшее давленіе $f\gamma$, гдѣ γ означаетъ вѣсъ 1 куб. метра воды. Такимъ образомъ вода во всякомъ случаѣ будетъ направлена отъ O къ C (I), и, согласно вышеприведеннымъ замѣчаніямъ, мы можемъ здѣсь сдѣлать выборъ между открытымъ и закрытымъ водоводомъ. Въ I долженъ быть устроенъ промежуточный бассейнъ, отъ котораго начинается напорный проводъ (C) I, II, III, IV (E). Теоретически было бы правильно считать линію, идущую отъ I къ E (IV), линіей высотъ напора, и устроить одинъ проводъ (одинаковаго діаметра) по всей этой длинѣ; это предположеніе будетъ и практически правильно, если трубопроводъ при нормальной стоимости 1 пог. единицы безопасно можетъ выдержать давленіе γc, при закрываніи притока къ резервуару. Если проводъ имѣетъ болѣе или менѣе значительный діаметръ, то при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ будетъ весьма нераціонально подвергать проводъ этому давленію. Тогда устраиваютъ крутой проводъ отъ I къ II, или въ II устанавливаютъ регуляторъ напора, въ зависимости отъ того, примѣняется ли сильное паденіе h_2 для цѣлей уменьшенія діаметра провода, или же (при болѣе значительномъ размѣрѣ) оно частью употребляется также для дѣйствія мотора.

Проводя затѣмъ линію II E, мы видимъ, что она глубоко врѣзывается въ горный хребетъ при III, такъ что укладка единичнаго провода безъ устройства подъ III туннеля здѣсь невыполнима. Поэтому проводъ раздѣляютъ на участки II, III и III E, и для каждаго изъ нихъ отдѣльно необходимо вычислить діаметръ. Если въ III вода поступаетъ въ промежуточный бассейнъ, то при закрытіи задвижки предъ резервуаромъ E давленіе уменьшается на величину γa; если проводъ отъ II до E остается закрытымъ, то получается наибольшее давленіе γb.

Отсюда ясно видно, что постепеннымъ введеніемъ боковыхъ промежуточныхъ резервуаровъ или подъемныхъ трубъ со сливами въ D, G, K можно даже при единичномъ проводѣ CE уменьшить максимальное давленіе въ снабжаемой мѣстности до величины Ja. Отрѣзки AD, FG, JK представляютъ собой происходящія здѣсь прибавленія высотъ напора къ существующимъ въ точкахъ D,G и K при закрываніи необходимыхъ въ этихъ мѣстахъ задвижекъ.

Сравнительныя исчисленія стоимости въ подобныхъ случаяхъ производятся весьма просто, такъ какъ діаметры трубъ легко могутъ быть опредѣлены; если II M представляетъ собой горизонтальную линію, то получается:

$$h_2+h_3+h_4=\frac{\lambda Q^2\ (l_2+l_3+l_4)}{D^5_{CE,}}$$

$$h_2=\frac{\lambda Q^2 l_2}{D^5_{CB,}} \qquad h_3=\frac{\lambda Q^2 l_3}{D^5_{BK,}} \qquad h_4=\frac{\lambda Q^2 l_4}{D^5_{KE}};$$

производя указанныя вычисленія, легко опредѣлить, какому изъ получаемыхъ рѣшеній должно быть отдаваемо преимущество съ экономической или практической точки зрѣнія.

Относительно направленія оси трубопровода подъ линіей рабочихъ высотъ напора мы выше замѣтили (см. гл. 3), что здѣсь никакихъ ограниченій не дается; если возможно избѣгнуть противоположныхъ и обратныхъ паденій (отд. IV гл. B), то устройство провода будетъ проще Вообще высшія точки провода должны быть снабжены приспособленіями для выпуска воздуха, а наиболѣе глубокія—шлюзовыми спусками; впрочемъ нѣтъ никакой безусловной необходимости уклоняться отъ этихъ приспособленій, хотя въ практикѣ они иногда не ставятся, какъ мы это увидимъ изъ нижеприведенныхъ примѣровъ.

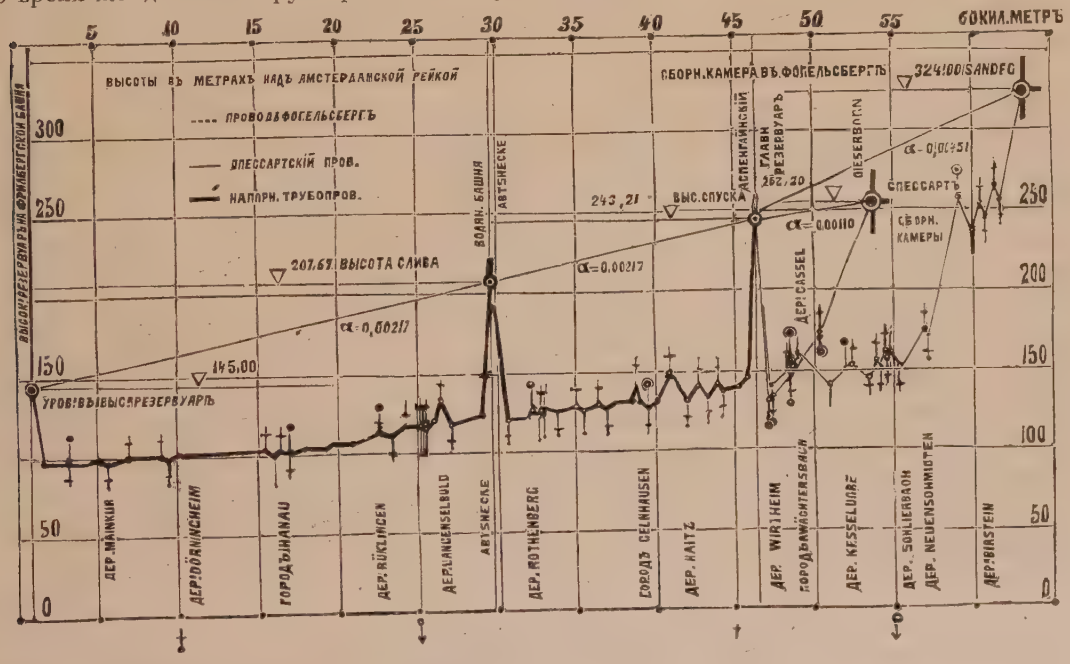
Фиг. 302. Продольный профиль Фрейбургскаго главнаго провода.

На фиг. 302 показана продольная профиль главнаго провода для устроеннаго авторомъ водоснабженія города Фрейбурга въ Баваріи. Рабочая высота напора, т. е. вертикальное разстояніе между сливнымъ уровнемъ воды въ напорномъ резервуарѣ и осью трубы сборнаго колодца [1]), (т. е. наиболѣе низкимъ уровнемъ воды въ послѣднемъ) составляетъ 7,1 метр. а діаметръ (въ свѣту) трубы составляетъ 450 миллим. Первые 400 метр. провода, считая отъ сборнаго колодца, пришлось укладывать въ грунтовой водѣ; каждая отдѣльная труба уложена на поперечинѣ, поддерживаемой съ обоихъ концовъ забитыми въ землю сваями. Положеніе нижней кромки трубы на каждой поперечинѣ отмѣчалось шнуромъ, а положеніе цѣлаго участка трубы вывѣрялось угольникомъ и ватерпасомъ и приводилось къ одинаковой высотѣ. Канава для надлежащей укладки трубы могла быть углублена настолько, что грунтовая вода изъ подъ поперечинъ стекала и не препятствовала заливанію муфтъ; само собой разумѣется, весь трубопроводъ укладывался вверхъ по длинѣ. Послѣ засыпки уложеннаго трубопровода уровень грунтовыхъ водъ по всему протяженію оказался на 1 метръ выше деревянныхъ поперечинъ, которыя такимъ образомъ не подвержены гніенію. Почти на 1000 метр. ниже сборнаго колодца проводъ пересѣкаетъ ручей Ешбахъ, весьма обильный полой водой, такъ что въ этомъ мѣстѣ оказалось неизбѣжнымъ укрѣпленіе трубопровода. Для этого въ землю были забиты 2 ряда дубовыхъ обтесанныхъ на 4 канта свай 7 шир. толщ. по 0,18 метр. и длин. 4 до 5 метр., снабженныхъ тяжелыми желѣзными башмаками; затѣмъ на двойной ширинѣ нормальнаго русла рѣки вверхъ по теченію была забита плотная шпунтовая стѣнка. Наконецъ, трубопроводъ по всему своему протяженію былъ прочно соединенъ со сваями и на уровнѣ подошвы рѣки былъ покрытъ тяжелой дубовой настилкой, которая скрѣплялась съ

[1]) Спускная труба въ сборномъ колодцѣ показана на фиг. 176 (см. отд. II, гл. 9).

обвязкой шпунтовой стѣнки и со сваями помощью гвоздей. Недалеко отъ этого перехода черезъ ручей начинается назначенная для проведенія трубы дорога, проведенная по сплошной скалѣ. Для избѣжанія весьма дорогой земляной выемки въ этой скалѣ здѣсь были вынуждены устроить обратное паденіе трубопровода, и въ верхней точкѣ его поставить автоматическій воздушный клапанъ для выпуска накопляющагося въ этомъ мѣстѣ воздуха, исправно дѣйствующій уже съ 1847 года. На остальномъ своемъ протяженіи трубопроводъ имѣетъ равномѣрное постоянное паденіе до наиболѣе низкаго его пункта на улицѣ Karthäuserstrasse, гдѣ имѣется шлюзовой спускъ, и отъ котораго опять начинается безпрерывный подъемъ къ напорному резервуару.

Какъ видно изъ продольной профили, на всемъ протяженіи трубопровода отъ сборнаго колодца до шлюзового спуска на улицѣ Karthäuserstrasse имѣется 21 воздушная пробка и одинъ шлюзовой спускъ (вблизи скрещенія съ Эшбахомъ); каждая пробка расположена въ отдѣльной шахтѣ, такъ что въ соотвѣтственномъ числѣ мѣстъ имѣются доступы къ трубопроводу. Такъ какъ вся длина трубопровода до означеннаго пункта составляетъ 4800 метр., то одна входная шахта приходится на каждые 200 метр. длины провода. Воздушныя пробки въ сущности служатъ только для выпусканія воздуха изъ провода при его наполненіи; во время же дѣйствія трубопровода онѣ употребляются очень рѣдко. Шлюзовой спускъ



Фиг. 303. Продольный профиль Франкфуртскаго ключеваго водопровода.

у котораго расположена запорная задвижка, дѣлитъ весь проводъ на два отдѣленія, каждое изъ которыхъ можетъ быть наполнено и опорожнено въ отдѣльности. Отвинчиваніемъ крышки у воздушныхъ пробокъ и раздѣлительной коробки шлюзового спуска открывается трубопроводъ, который можетъ быть очищенъ помощью банника, пропускаемаго въ него изъ каждой входной шахты.

Болѣе сложную профиль представляетъ собой построенный Шмикомъ главный проводъ для ключевого водопровода г. Франкфурта, показанный на фиг. 303. Здѣсь мы видимъ рѣзкіе переходы отъ высшихъ къ низшимъ точкамъ, которые при этомъ направленіи трубопровода оказались неизбѣжными. У деревни Бирштейнъ проводъ длин. около 18860 метр. отъ ключей въ Фогельсбергѣ къ напорному резервуару у осиновой рощи (Aspenhainer Kopf) начинается чугунными трубами діам. 360 миллим.; ключи у Спессартъ тоже направляютъ свои воды къ тому же напорному резервуару по трубопроводу, состоящему изъ 528 метровъ трубъ діам. 456 миллим. и 6975 метр. трубъ діам. 533 миллим. У деревни Виртгеймъ проводъ отъ Спессартскихъ ключей пересѣкаетъ рѣку Кинцигъ помощью желѣзнаго сифона. Отъ упомянутаго напорнаго резервуара у Aspenhainer Kopf начинается главный проводъ во Франкфуртъ; до

резервуара у Фридбергскаго поста онъ сплошь состоитъ изъ чугунныхъ трубъ діам. 533 миллим. и помощью водонапорной башни въ монастырскомъ лѣску развѣтвляется на 2 отдѣленія, причемъ въ этой башнѣ подъемная и спускная трубы сообщаются между собой въ той точкѣ, черезъ которую проходитъ прямая линія, соединяющая уровень воды въ резервуарѣ у Фридбергскаго поста съ уровнемъ воды въ бассейнѣ у Aspenhainer Kopf.

Въ этомъ случаѣ помощью упомянутой водонапорной башни можно уменьшить давленіе въ ближайшей къ резервуару у Фридбергскаго поста вѣткѣ трубопровода, которое безъ этого приспособленія при закрытіи задвижки передъ колодезной камерой упомянутаго резервуара было бы весьма значительно. Уменьшеніе давленія эквивалентно разности высотъ уровней въ резервуарѣ у Aspenhainer Kopf и мѣста соединенія напорной и спускной трубъ напорной башни у монастырской рощи и = 243,21 — 207,67 = 36,54 метр., т. е. достигаетъ весьма замѣтной величины больше 3½ атмосф. Безъ подобнаго приспособленія давленіе въ трубопроводѣ при дер. Майнкуръ поднялось бы до 14 атмосферъ и выше, не считая уже увеличенія давленія отъ удара при закрываніи задвижки вслѣдствіе колебанія длиннаго столба воды.

Установленные на трубопроводѣ воздушные клапана не дѣйствуютъ автоматически; но это обстоятельство не влечетъ за собой никакихъ неудобствъ, и эти клапана дѣйствуютъ вполнѣ правильно и надежно. На протяженіи всего трубопровода во многихъ мѣстахъ установлены самопишущіе манометры, показанія которыхъ служатъ для контролированія измѣненій въ водопроводѣ.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ здѣсь прибавить, что для надежнаго дѣйствія напорныхъ водоводовъ, точно такъ же какъ и открытыхъ каналовъ, желательно раздѣленіе всего трубопровода на короткіе участки, которые могутъ быть наполнены и опорожнены независимо другъ отъ друга. Подобное раздѣленіе не только облегчаетъ быстрое закрываніе водовода въ случаѣ какихъ либо въ немъ исправленій, но также и уменьшаетъ трату времени, протекающаго между исправленіемъ поврежденій и пусканіемъ въ дѣйствіе водовода. При весьма длинныхъ проводахъ необходимо, по меньшей мѣрѣ въ каждомъ селѣ, чрезъ которое проходитъ водопроводъ, установить на немъ соотвѣтствующія запорныя приспособленія: раздѣлительную коробку съ 2-мя задвижками и шлюзовымъ спускомъ; само собой разумѣется, что еще лучше имѣть также и сигнальныя приспособленія для указанія могущихъ произойти разрывовъ трубъ или вообще какихъ-либо неисправностей, а также и манометры для наблюденія за условіями теченія воды по водоводу въ различныхъ мѣстностяхъ назначенными для того лицами.

5. Сохраненіе постоянной температуры воды и вентиляція.

Если V означаетъ объемъ воды, содержащейся въ трубопроводѣ (или цѣлой сѣти трубъ), а Q количество воды, заимствуемой изъ трубопровода втеченіе каждой секунды, то частное V:Q выражаетъ собой число секундъ, втеченіе которыхъ произойдетъ полное опорожненіе трубопровода, если никакого притока къ сѣти не происходитъ. Если-же допустимъ, что существуетъ притокъ къ трубопроводу, равный расходу Q то частное V:Q означаетъ собой время въ секундахъ, втеченіе котораго вода должна оставаться въ трубопроводѣ до ея израсходованія.

Отсюда ясно, что чѣмъ больше величина V, тѣмъ больше имѣется шансовъ къ тому, чтобы протекающая по трубопроводу вода приняла-бы температуру окружающей трубопроводъ среды (земли, воздуха, воды и проч.). Дѣйствительныя наблюденія надъ трубопроводами значительной длины показали, что температура воды, заимствуемой изъ этихъ трубопроводовъ, ближе къ тем-

пературѣ окружающей почвы, нежели къ температурѣ воды въ мѣстѣ ея добыванія. Такъ какъ уравниваніе температуръ происходитъ только черезъ стѣнки трубъ, объемъ которыхъ въ отношеніи къ объему всей трубы составляетъ $\pi D : 0{,}25 . \pi D^2$, или, $1 : 0{,}25\ D$, то ясно, что при опредѣленной скорости воды и узкихъ трубахъ уравниваніе температуръ происходитъ быстрѣе, нежели въ широкихъ трубахъ при тѣхъ-же обстоятельствахъ.

Въ зависимости отъ условій въ каждомъ данномъ случаѣ, уравниваніе температуры воды съ температурой окружающей трубопроводъ почвы является желательнымъ или-же неблагопріятнымъ. Оно является весьма желательнымъ при рѣчномъ водоснабженіи, гдѣ вода у источника ея добыванія зимой слишкомъ холодна, а лѣтомъ слишкомъ тепла. Здѣсь посредничество теплоты почвы дѣйствуетъ въ благопріятную сторону. Неблагопріятнымъ-же оно оказывается при ключевомъ водоснабженіи, когда постоянная температура ключа представляла собой главный мотивъ большихъ затратъ на проведеніе воды въ сѣть, и это преимущество болѣе или менѣе теряется вслѣдствіе обогрѣванія трубопровода окружающей средой (см. отд II, гл. 10).

Изъ сказаннаго въ началѣ главы ясно, что при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ начальная температура воды лучше всего сохраняется при поступленіи ея изъ главнаго провода въ трубную сѣть или резервуаръ [1]). Температура воды въ распредѣлительныхъ сѣтяхъ второго и третьяго порядка тѣмъ больше будетъ разниться отъ начальной температуры воды и тѣмъ больше будетъ приближаться къ температурѣ окружающей почвы, чѣмъ дальше отъ главнаго провода расположены мѣста заимствованія воды изъ сѣти, чѣмъ меньше сѣченіе трубъ, чѣмъ меньше расходъ воды, и чѣмъ обширнѣе распредѣленіе воды. Эти обстоятельства во многихъ снабжаемыхъ мѣстностяхъ, преимущественно съ безконтрольнымъ отпускомъ ключевой воды, приводятъ къ тѣмъ непріятнымъ и помянутымъ выше послѣдствіямъ, что потребители путемъ лишней траты воды образуютъ сильный токъ ея въ распредѣлительныхъ трубахъ, увеличивая такимъ образомъ значеніе Q для уменьшенія вліянія температуры почвы путемъ уменьшенія величины отношенія $V : Q$.

Вообще никакимъ практическимъ способомъ невозможно въ обширныхъ размѣрахъ препятствовать уравниванію температуръ окружающей среды и трубы или содержимой трубы, и поэтому при очень большихъ водоснабженіяхъ и очень длинныхъ проводахъ происхожденію воды въ этомъ отношеніи не придается никакого значенія; въ подобныхъ случаяхъ вода изъ домовыхъ сѣтей получается при одинаковой температурѣ безразлично, добывается-ли она изъ ключей (грунтовая вода), изъ рѣки или пруда. Но съ другой стороны необходимо имѣть въ виду весьма важное значеніе глубины залеганія трубъ или температуры почвы, окружающей трубопроводъ, которой вызывается нагрѣваніе или охлажденіе воды въ трубахъ.

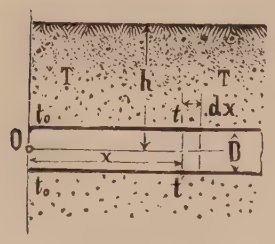
Теоретическимъ изслѣдованіемъ вопроса объ уравниваніи теплоты занимались многіе авторитеты; главнымъ образомъ извѣстны по этому предмету работы Пересини и Форхгеймера [2]).

---

[1]) Измѣненіе температуры воды въ резервуарахъ большею частью весьма незначительно (ср. гл. 6).

[2]) Journ. für Gasbel. u. Wasserv. т. 23. стр. 608, 644. 1880 г., т. 27, стр. 301. 1884 г., т. 28, стр. 191, 273, 292, 1885 г.; т. 31, стр. 669, 1888 г.
Zeitschr. d. Archit.—u.—Ingen. Ver. zu Hannover. т. 34 тетр. 2. 1888.

Если примемъ, что черезъ каждое поперечное сѣченіе трубы одинаковой ширины по всей своей длинѣ протекаетъ количество воды Q куб. метр. въ секунду, и что въ каждомъ поперечномъ сѣченіи температура воды остается постоянной (состояніе неизмѣняемости). т. е. что стѣнки трубъ отдаютъ теплоту окружающей средѣ или заимствуютъ отъ нея теплоту безъ замѣтнаго при этомъ измѣненія температуры T среды; если затѣмъ примемъ, что температура t протекающей воды и окружности трубы въ какомъ-либо мѣстѣ x одинакова (въ началѣ 0 составляетъ t_0) и пренебрежемъ теплотой, являющейся въ трубѣ вслѣдствіе потери напора на треніе, то, обозначая черезъ:



Фиг. 304.

h — глубину оси трубы подъ землей,

D — наружный діаметръ трубопровода въ метрахъ,

K — коэффиціентъ, показывающій количество единицъ теплоты, передаваемой 1 квадр. метромъ въ секунду черезъ земляную покрышку толщ. 1 метр. при разности температуръ съ обѣихъ сторонъ этого слоя въ 1^0 C,

получаемъ основную зависимость, выражаемую уравненіемъ

$$-1000 \,.\, Q\, d\, t = \pi \,.\, K \,.\, D \,.\, d\, x \,.\, f(D,h)(T-t) = 1000\, n\, (T-t)\, dx,$$

показывающимъ, что сообщаемое окружающей средѣ и поглощаемое изъ нея элементомъ трубы $\pi\, D\,.\,dx$ количество теплоты должно быть равно количеству теплоты, пріобрѣтаемой или теряемой протекающей водой. Введеніе въ это уравненіе постояннаго множителя $f\,(D,h)$ означаетъ, что отдача теплоты окружающей средѣ зависитъ не только отъ величины $T-t$, но также и отъ глубины залеганія оси трубы подъ поверхностью земли и отъ отношенія ея къ діаметру трубы. Постоянные множители соединены вмѣстѣ и изображены величиной $1000\,.\,n$. Интегрированіе этого уравненія между предѣлами $x = 0$ и $t = t_0$ даетъ намъ формулу:

$$1)\quad t = T + (t_0 - T)\, e^{-nx}.$$

Коэффиціентъ n въ отдѣльныхъ только случаяхъ можетъ быть вообще опредѣленъ практически—путемъ наблюденія, или теоретическими изслѣдованіями. Послѣднія произведены Форхгеймеромъ; его весьма интересныя изслѣдованія, которыхъ мы здѣсь приводить не можемъ, дали слѣдующую величину n:

$$n = \frac{2\,\pi\, K}{1000\, Q \operatorname{lg\,nat}\left(\frac{2h}{D} + \sqrt{\frac{4h^2}{D^2} - 1}\right)}.$$

Теплопроводность K различныхъ родовъ почвъ приводится въ спеціальныхъ курсахъ физики. Среднее значеніе K, соотвѣтствующее влажнымъ материкамъ, составляетъ $K = 0{,}00056$ Подставляя эту величину въ приведенную формулу, получимъ:

$$2)\quad n = \frac{0{,}00000153}{Q \log\left(\frac{2h}{D} + \sqrt{\frac{4h^2}{D^2} - 1}\right)},$$

гдѣ въ знаменателѣ приведены десятичныя логариѳмы [1]).

Примѣръ. Напорный трубопроводъ длин. 2250 метр., ось котораго расположена на 2,2 метра подъ землей, при наружномъ діаметрѣ въ 0,380 метр. пропускаетъ 0,069 куб. метр. воды въ секунду. Въ началѣ трубопровода температура воды $t_0 = 10{,}75^0$ C, а температура почвы $T = 14{,}65^0$ C. Требуется опредѣлить температуру воды въ концѣ трубопровода.

По формулѣ 2) получаемъ:

$$n = \frac{0{,}00000153}{0{,}069 \,.\, \log\left(\frac{4{,}4}{0{,}38} + \sqrt{\frac{4\,.\,2{,}2^2}{0{,}38^2} - 1}\right)}.$$

---

[1]) Пока $D < \frac{h}{2}$ можно безъ замѣтной погрѣшности принять:

$$n = \frac{0{,}00000153}{Q \log \frac{4h}{D}}.$$

Къ подобному выводу пришелъ Перессини, а совершенно инымъ путемъ и Форхгеймеръ.

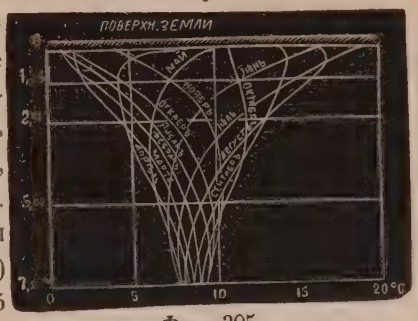
По этому значенію a и по формулѣ 1) получимъ:

$$t = 14{,}65 - 3{,}9\, e^{-0{,}0000162\,.\,2250} = 14{,}65 - 3{,}76 = 10{,}89^{\circ}\ C.$$

Нагрѣваніе, такимъ образомъ, составляетъ $10{,}89 - 10{,}75 = 0{,}14^{\circ}\ C.$

При подобнаго рода изслѣдованіяхъ вообще предполагается, что тепловое состояніе среды, которой протекающая по трубопроводу вода сообщаетъ теплоту или отъ которой она заимствуетъ теплоту, не подвержено замѣтнымъ внѣшнимъ вліяніямъ; подобное предположеніе болѣе или менѣе оправдывается въ обыкновенно разсматриваемыхъ случаяхъ. Суточныя колебанія температуры почвы простираются на сравнительно небольшую глубину (рѣдко больше 1—1,5 метр.) и втеченіи короткихъ періодовъ времени, конечно, еще менѣе ощутительны. При вычисленіи по приведеннымъ формуламъ обыкновенно приходится разсматривать теченіе процесса впродолженіе нѣсколькихъ только часовъ и трубопроводъ, уложенный на два метра и глубже подъ землей. Обозначенной въ формулахъ буквой T температурой можно считать ту температуру, которая существовала-бы на оси трубы въ опредѣленное время, если бы никакой трубы въ этомъ мѣстѣ не было-бы.

Втеченіе различныхъ временъ года, однако, температура T въ мѣстѣ оси трубы обыкновенно расположенной на 1,5 до 3 метр. подъ поверхностью земли, подвержена замѣтнымъ колебаніямъ. Общія свѣдѣнія о температурѣ почвы приведены нами выше (см. отд. 1, гл. 8), гдѣ мы видѣли, что въ каждомъ данномъ мѣстѣ температура почвы подвержена вліянію самыхъ разнообразныхъ обстоятельствъ. Но вообще несомнѣнно, что на извѣстной глубинѣ подъ поверхностью почвы всегда расположено мѣсто съ постоянной температурой, и что на болѣе значительныхъ глубинахъ въ сухой почвѣ происходитъ постепенное повышеніеея температуры. Интересующее же насъ колебаніе температуры въ верхнихъ слояхъ почвы глубиной до 3 метр. различно въ различныхъ мѣстахъ. Въ то время какъ, напр., втеченіе весьма жестокой зимы 1879—80 г. въ Баденъ-Баденѣ морозъ проникъ до глубины 1,6 метр., и даже на берегу моря (въ Кенигсбергѣ) замерзали трубопроводы, уложенные на глубинѣ 1,5 метр., въ Leadville*) (Сѣв. Ам. С. Шт.) подобное промерзаніе наблюдалось на глубинѣ 2,10 и 3,05 метр.



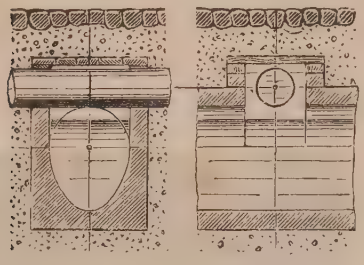
Фиг. 305.

Поэтому для мѣстности, въ которой предположено укладывать водопроводныя трубы, настоятельно необходимо знать точно температуры почвы въ различныя времена года. Для этой цѣли необходимо сопоставить результаты наблюденій въ видѣ таблицъ или діаграммъ, какъ показано на фиг. 305, и подобныя наблюденія относятся къ предварительнымъ работамъ по водоснабженію наравнѣ съ пробными буреніями, наблюденіями за грунтовыми водами, измѣреніями производительности ключей и проч. Такія наблюденія температуръ имѣютъ тѣмъ большее значеніе, чѣмъ на болѣе длинный періодъ времени они простираются. Весьма важно параллельно съ этими наблюденіями производить наблюденія и надъ температурой воздуха. Опытъ показываетъ, что наблюденія въ непосредственно сосѣднихъ мѣстахъ, при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ, даютъ совершенно раз-

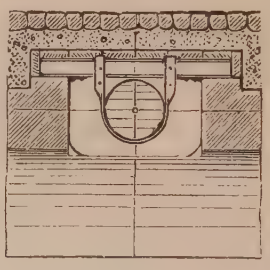
*) Journ. f. Gasbel. u. Wasserv. т. 34, стр. 152. 1891 г.

личные результаты, такъ что численные результаты наблюденій въ одной мѣстности ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ отнести и къ другой мѣстности. По результатамъ тщательныхъ наблюденій можно будетъ опредѣлить, можно ли вообще въ предѣлахъ извѣстной области уложить трубопроводъ на практически допускаемой глубинѣ, не опасаясь замерзанія трубъ. Въ случаѣ невозможности подобной укладки трубопровода необходимо изучить тѣ мѣры, которыя слѣдуетъ принимать въ данномъ случаѣ для предохраненія трубъ отъ замерзанія, а въ случаѣ слишкомъ высокой температуры почвы—тѣ мѣры, которыя должны быть приняты для предохраненія трубъ отъ дѣйствія теплоты почвы.

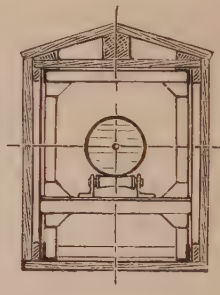
Для уменьшенія стоимости укладки, въ практикѣ обыкновенно глубина трубопроводовъ подъ поверхностью земли не дѣлается больше 3 метр.; по возможности слѣдуетъ стремиться къ меньшей глубинѣ залеганія трубъ, такъ какъ сама укладка и содержаніе трубопровода, уложеннаго на небольшой глубинѣ, представляетъ собой значительныя удобства. Поэтому въ различныхъ мѣстностяхъ приняты извѣстныя предѣльныя величины, при чемъ приняты во вниманіе не только вліяніе теплоты, но также и необходимость путемъ земляной насыпки предохранять уложенныя въ землѣ трубы отъ поломки вслѣдствіе происходящей надъ ними уличной ѣзды. Опытъ показалъ, что для послѣдней цѣли достаточной защитой можетъ служить хорошо утрамбованная земляная насыпка



Фиг. 306.



Фиг. 307.



Фиг. 308.

толщ. 1,5—2 метр., которая въ тепломъ климатѣ и при сильной уличной ѣздѣ должна представлять наименьшій предѣлъ. Противъ замерзанія въ умѣренномъ климатѣ Европы[1]) обыкновенно считается достаточной земляная насыпка толщ. въ 1,5—2 метр. которая можетъ быть принята нормальной; въ мѣстностяхъ съ суровыми зимами (см. отд. I, гл. 8), наоборотъ, предохраненіе трубъ при глубинѣ ихъ залеганія меньше 3 метр. достигается особыми мѣрами.

Такое предохраненіе трубъ требуется и въ умѣренныхъ климатахъ въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо провести трубопроводъ надъ каналами, мостами и проч., что бываетъ вызвано невозможностью проведенія его подъ ними въ землѣ вслѣдствіе какихъ либо другихъ причинъ; впрочемъ такое предохраненіе трубъ не представляетъ затрудненій.

При пересѣченіи каналовъ не слѣдуетъ стѣснять поперечнаго сѣченія для прохода воды, т. е. трубопроводъ долженъ быть уложенъ поверхъ канала. Въ такихъ случаяхъ часто получается слишкомъ тонкая насыпка сверху трубы, и для достиженія удержанія тепла ока-

[1]) Такъ, напр., въ Карлсруэ зимой 1879/80 г. водопроводныя трубы, уложенныя на глубинѣ 1,8 метр., нигдѣ не были повреждены морозами; ледяная же покрышка въ почвѣ найдена еще на глубинѣ 1,5 метр., такъ что большая часть главныхъ проводовъ, уложенныхъ частью на глубинѣ 1,2 метр., замерзла. Въ домовыхъ отвѣтвленіяхъ, уложенныхъ на глубинѣ 1,5 метр., никакихъ поврежденій не произошло.

зывается удобнымъ пропускать теплый большей частью воздухъ изъ канала къ трубѣ снизу ея, пробивъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ отверстія въ вершинѣ покрытія канала (напр. въ замкѣ свода), какъ показано на фиг. 303. При пользованіи каменными мостами, своды которыхъ мѣстами расположены весьма близко отъ проѣздной дороги, трубы въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онѣ свободно свѣшиваются въ сводахъ (фиг. 307), покрываютъ дурными проводниками тепла, чтобы помощью притекающаго зимой теплаго воздуха съ почвы (а лѣтомъ относительно холоднаго) нѣсколько умѣрять вліяніе внѣшней температуры.

Иногда при проходѣ черезъ мосты трубы укладываются въ особыхъ желѣзныхъ ящикахъ (фиг. 308). Трубы обыкновенно покрываются, подобно паропроводнымъ трубамъ, изолирующимъ матеріаломъ, какъ напр. изолирующіе жгуты, шнуры и проч., образующимъ хорошую защиту для трубъ. Весьма нецѣлесообразно, наоборотъ, заполнять весь ящикъ изолирующимъ матеріаломъ, размягчающимся при отпотѣваніи стѣнокъ, или такими дурными проводниками тепла, какъ напр. золой, соломой, навозомъ и проч., продукты разложенія которыхъ вредно дѣйствуютъ на стѣнки трубъ и ящика.

Если вода въ трубѣ находится въ постоянномъ движеніи, какъ это, напр., имѣетъ мѣсто въ главныхъ проводахъ, то замерзанію трубы препятствуетъ постоянное безпрерывное обновленіе содержимаго трубы, и въ подобномъ случаѣ трубы могутъ быть уложены даже на открытомъ воздухѣ. Въ распредѣлительныхъ же сѣтяхъ, гдѣ временами происходитъ остановка движенія воды, подобная укладка трубъ уже не допускается.

Въ холодномъ климатѣ при недостаточной глубинѣ залеганія трубъ иногда прибѣгаютъ къ искусственному нагрѣванію трубъ, какъ напр. гашеніемъ извести надъ канавой, гдѣ уложены трубы, пропусканіемъ пара и проч.

Въ Leadville, напр., водопроводныя трубы уложены на глубинѣ 1,83 метр., и послѣ укладки обсыпаны навозомъ; при засыпкѣ канавъ съ уложенными трубами всѣ болѣе крупные камни покрывающаго матеріала выкинуты. Гидранты у нижнихъ своихъ концовъ окружены прямоугольными деревянными (длин. и шир. по 60 — 75 сант. и выс. въ 60 сант.) изъ 5-ти сантиметровыхъ досокъ ящиками, которые могутъ снабжаться паромъ по 37-ми миллиметровымъ трубамъ, уложеннымъ по улицамъ. Всѣ домовые распредѣлительные проводы снабжены деревянными ящиками съ двойными отѣнками, слой воздуха между которыми служитъ предохраненіемъ отъ замерзанія; наружный ящикъ имѣетъ въ свѣту 20 сантим., а внутренній 10 сантим. Въ это пространство тоже можетъ быть пущенъ паръ помощью трубы діам. 13 миллиметр., для чего управленіе водопровода имѣетъ перевозный паровой котелъ (локомобиль) въ 4 лош. силы. По наступленіи холоднаго времени гидранты часто открываются, и предохранительные ящики заполняются паромъ; пропусканіемъ пара къ проводамъ гидрантовъ они освобождаются также и отъ льда. Замерзшіе главные провода иногда просверливаются, и въ полученныя отверстія пускается паръ.

Если возможно во время сильныхъ морозовъ подогрѣвать назначенную для распредѣленія воду въ резервуарѣ помощью пара до ея поступленія въ магистральный проводъ, то слѣдуетъ примѣнять этотъ способъ, какъ одинъ изъ наилучшихъ (см. нижеописанное для этого приспособленіе). Вполнѣ понятно, что при ключевыхъ водоснабженіяхъ обильное прополаскиваніе или промывка всего трубопровода и частныхъ отвѣтвленій представляетъ собой достаточное предохранительное средство. Но затрудненія при примѣненіи этихъ способовъ и стоимость его во всякомъ случаѣ весьма значительны.

Съ подобными-же затрудненіями и значительными тратами связано предохраненіе воды въ трубопроводѣ отъ нагрѣванія въ случаѣ недостаточной глубины его залеганія подъ землей; поэтому подобное нагрѣваніе воды обыкновенно признается неизбѣжнымъ неудобствомъ. Но пока гигіена не признаетъ за теплой водой вреда для общественнаго здравія, и пока температура воды не подымается выше 16° С, никакихъ почти измѣненій въ этомъ дѣлѣ не произойдетъ. Впрочемъ въ подобныхъ случаяхъ можно понизить температуру воды искусственнымъ сообщеніемъ ей холода. Смачиваніе стѣнокъ трубъ снаружи въ доступныхъ мѣстахъ и сильный токъ воздуха для образованія испаренія на нихъ пред-

ставляетъ собой весьма дѣйствительное средство для пониженія температуры текущей по трубопроводу воды. Точно также для пониженія температуры воды трубы могутъ быть мѣстами окружены спирально свернутыми вокругъ нихъ трубками меньшаго діаметра, по которымъ пропускается охладительная смѣсь (ср. отд. II, гл. 7), какъ это предложено Вудомъ и описано въ Scientific Americ. стр. 99 за 1891 г. Всѣ эти приспособленія довольно сложны и очень дороги, и въ большинствѣ случаевъ, по меньшей мѣрѣ при новыхъ сооруженіяхъ, можно избѣжать ихъ; наилучшимъ предохраненіемъ воды отъ повышенія ея температуры въ лѣтнее время служитъ надлежащее углубленіе оси трубы подъ поверхностью земли, а также и обильный расходъ воды въ снабжаемой мѣстности; въ нашемъ климатѣ эта цѣль вполнѣ достигается слоемъ земли надъ трубой толщ. въ 2 метр.

Авторъ въ большинствѣ случаевъ придаетъ земляной покрышкѣ надъ трубами толщину въ 2 до 2,5 метр. отчасти потому, что отводимыя отъ главнаго провода домовыя трубопроводы отвѣтвляются отъ нихъ сверху для достиженія постояннаго провѣтриванія магистральнаго трубопровода (ср. гл. 9).

До сихъ поръ мы въ сущности имѣли въ виду только чугунныя или вообще металлическія трубы для провода воды. Всѣ наши выводы, впрочемъ, могутъ считаться правильными и для трубъ изъ другихъ строительныхъ матеріаловъ, какъ напр. изъ цемента, асфальта, дерева и проч. Выведенная выше формула можетъ служить и для этихъ матеріаловъ, если мы въ нее вмѣсто наружнаго діаметра D введемъ ширину трубы въ свѣту, т. е. если примемъ теплопроводимость стѣнокъ трубы одинаковой съ окружающей землей, что́ приблизительно допускается.

Если проводъ воды происходитъ по каналамъ, то условія существенно измѣняются. Открытые каналы (канавы) зимой постоянно подвержены дѣйствію морозовъ, а лѣтомъ доставляютъ теплую воду. Противъ этого, конечно, не существуетъ никакихъ способовъ; единственно примѣнимое средство состояло бы въ покрытіи этихъ канавъ; но нежелательность примѣненія этого средства въ данномъ случаѣ вполнѣ доказывается устройствомъ открытыхъ канавъ.

Если каналы устроены закрытыми со всѣхъ сторонъ, но съ открытымъ только уровнемъ воды, то находящаяся въ движеніи вода окружена оболочкой, имѣющей среднюю температуру почвы, и съ которой она на всемъ мокромъ периметрѣ обмѣнивается теплотой, какъ мы это разсмотрѣли для случая провода воды по трубамъ. На соприкасающейся же съ воздухомъ поверхности водяной струи (на свободномъ ея уровнѣ) обмѣнъ теплоты зависитъ не только отъ температуры воздуха, но также и отъ количества движенія и направленія, а также и отъ состоянія насыщенія воздуха. Такимъ образомъ при разсмотрѣніи тепловыхъ условій воды, необходимо различать часть периметра водяного поперечнаго сѣченія канала, соприкасающуюся съ водой, отъ части его, соприкасающейся съ воздухомъ.

Соприкасающаяся съ воздухомъ поверхность воды можетъ испытывать охлажденіе при всякой температурѣ воздуха. Если воздухъ теплѣе воды, то для охлажденія требуется только, чтобы его относительная влажность была бы невелика: тогда недостатокъ насыщенія (см. отд. I, кн. 2), очевидно, стремится къ пополненію изъ воды, а подобное пополненіе насыщенія можетъ произойти лишь въ случаѣ происходящаго испаренія съ ея поверхности. При подобномъ испареніи изъ воды поглощается теплота (см. отд. IV, гл. 2). Если же воздухъ холоднѣе воды, то переходъ теплоты понятенъ самъ собой.

Если въ каналъ поступаетъ мало воздуха, то находящійся надъ водой мало подвижный воздухъ приблизительно насыщенъ парами, причемъ исчезаетъ причина испаренія воды съ поверхности; но въ подобномъ случаѣ воздухъ принимаетъ приблизительно температуру окружающей земли. Если воздухъ холоднѣе воды, то на каждый кв. метръ водяной поверхности при разности температуръ въ 1° С отъ воды къ воздуху передается 5,3 един. теплоты въ часъ лучеиспусканіемъ (0,0015 един. теплоты на 1 кв. метръ въ секунду), т. е. нѣсколько больше, чѣмъ вдвое противъ количества теплоты, которое могутъ передать стѣнки канала. Если температура воздуха выше температуры воды, то происходитъ передача теплоты отъ воды, причемъ передаваемое количество теплоты обыкновенно принимаютъ равнымъ тому количеству ея, которое передается каждой квадратной единицей поверхности стѣнокъ, если бы поверхность передачи была равна плоскости свободнаго уровня воды.

Въ послѣднемъ случаѣ передача теплоты происходитъ подобно тому, какъ въ трубахъ съ круглымъ сѣченіемъ; но вмѣсто окружности трубъ слѣдуетъ ввести окружность или периметръ водяного поперечнаго сѣченія. Такъ какъ при совершенно наполненной водою трубѣ круглаго сѣченія поверхность трубы въ сравненіи съ окружностью достигаетъ своего максимума, то при каждой невполнѣ наполненной водою профили (слѣд. при каждомъ открытомъ проводѣ) во внѣшнюю среду передается большее количество теплоты, или если окружающая среда теплѣе воды, то отъ нея заимствуется большее количество теплоты. Уравниваніе температуры воды съ температурой окружающей земли при одинаковыхъ количествахъ протекающей воды въ этомъ случаѣ происходитъ быстрѣе, т. е. повышеніе или пониженіе терпературы само по себѣ въ этомъ случаѣ, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, происходитъ интенсивнѣе. Увеличеніемъ мокраго периметра и поверхности свободнаго уровня можно содѣйствовать тому, чтобы помощью температуры окружающей земли протекающая вода зимой подогрѣвалась бы, а лѣтомъ охлаждалась бы, что весьма важно при водоснабженіи рѣчной водой. Съ другой стороны каналъ, конечно, долженъ быть уложенъ въ землѣ на такой глубинѣ, на которой уже не происходитъ замѣтныхъ колебаній температуры земли.

Въ лѣтнее время дальнѣйшее охлажденіе воды можетъ быть достигнуто путемъ вентиляціи. Какъ извѣстно, всякій не вполнѣ насыщенный водяными парами воздухъ, при прикосновеніи съ водяной поверхностью, поглощаетъ отъ нея водяные пары, и это поглощеніе происходитъ насчетъ содержащейся въ водѣ теплоты; такимъ образомъ испареніе охлаждаетъ воду. Чѣмъ большее количество воздуха соприкасается съ поверхностью уровня воды, и чѣмъ меньше воздухъ насыщенъ водяными парами, тѣмъ больше теплоты заимствуется изъ воды. Впускъ и отводъ воздуха называется вентиляціей.

Опытъ показалъ, что скорость воды больше 0,9 метр. въ секунду производитъ естественное всасываніе воздуха, которое увеличивается по мѣрѣ увеличенія скорости. Въ подобныхъ случаяхъ съ одной стороны необходимо озаботиться устройствомъ отверстій для доступа свѣжаго воздуха, а съ другой необходимо озаботиться выпускомъ постепенно насыщающагося водяными парами воздуха. Впускъ и выпускъ воздуха обыкновенно производятся помощью соотвѣтствующихъ приспособленій во входныхъ шахтахъ. Но такъ какъ эта манипуляція выгодна только лѣтомъ, а зимой, наоборотъ, доступъ холоднаго воздуха вызоветъ нежелательное охлажденіе воды, то эти впускныя и выпускныя приспособленія зимой должны

быть закрыты, т. е. они должны быть регулируемыми. Дѣйствіе холоднаго воздуха чрезвычайно интенсивно, такъ какъ онъ въ каналѣ не только нагрѣвается насчетъ находящейся тамъ теплоты, но долженъ также расширяться, а это расширеніе воздуха опять связано съ расходомъ теплоты (см. стр. IV, гл. 4); обратное явленіе происходитъ при впускѣ теплаго воздуха лѣтомъ.

Если вода течетъ со скоростью, меньшею 0,9 метр. въ секунду, то этимъ обстоятельствомъ еще не обусловливается настоятельная необходимость устройства приспособленій для всасыванія и выпуска воздуха, такъ какъ подъ вліяніемъ вѣтра также происходитъ теченіе воздуха въ каналахъ, а правильныя теченія вѣтра происходятъ почти повсюду. Въ тѣхъ же случаяхъ, гдѣ подобныя условія не имѣютъ мѣста, является необходимость въ искусственной вентиляціи, т. е. механическихъ приспособленіяхъ, которыя путемъ всасыванія воздуха изъ каналовъ и отведенія его наружу въ противоположную сторону вызываютъ поступленіе свѣжаго воздуха. Подобныя приспособленія иногда носятъ названіе аэрофора.

Необходимо принять во вниманіе, что достаточная естественная вентиляція можетъ произойти лишь тогда, когда каналы снабжены правильной системой впусковъ и выпусковъ для воздуха. Несомнѣнно также, что разность давленій воздуха внутри канала и внѣшней атмосферы производитъ притокъ или обновленіе воздуха; въ этомъ смыслѣ дѣйствуютъ одностороннія вентиляціонныя приспособленія, какъ напр. вентиляціонные камины въ обдѣлкахъ ключей (ср. отд. II, фиг. 100, розетки фиг. 103, и просверленныя шахтныя крышки фиг. 106). Для образованія достаточно сильнаго притока воздуха необходимы впускныя отверстія, сумма поперечныхъ сѣченій которыхъ должна быть равна или даже больше поперечнаго сѣченія слоя воздуха между уровнемъ воды и крышкой канала, а также необходимы и соотвѣтствующія выпускныя отверстія. Конструкція ихъ одинакова съ конструкціей только что приведенныхъ воздушныхъ каминовъ; впускныя отверстія должны быть обращены въ сторону господствующаго вѣтра и снабжены жалюзи; выпускныя же отверстія должны быть расположены въ обратную сторону.

Въ заключеніе приводимъ здѣсь нѣкоторые результаты наблюденій надъ температурой въ длинныхъ проводахъ (трубопроводахъ и водопроводныхъ каналахъ).

По сообщенію Grahn [1]) въ водопроводѣ изъ Dhuis (Парижъ) при общей длинѣ его въ 131 километръ (изъ коихъ 17,13 килом. напорнаго трубопровода діам. 1 метр., а остальную длину занимаетъ каналъ) вода въ зимнее время охлаждается на 2,50° С., а въ лѣтнее время нагрѣвается на 2,14° С. Въ водопроводѣ изъ Vanne (Парижъ) при общей длинѣ въ 173 километр. (изъ коихъ 21,50 километр. напорнаго трубопровода изъ двухъ трубъ діам. по 1,10 метр., а остальную длину занимаетъ каналъ) наибольшее пониженіе температуры составляетъ 1,4° С, а наибольшее повышеніе составляетъ 2,0° С.

Этимъ сообщеніямъ нѣсколько противорѣчатъ сообщенія Бехмана, по которымъ температура воды въ этихъ акведукахъ подвержена колебанію на 1° С.

Наибольшее повышеніе температуры воды въ Вѣнскомъ водопроводѣ изъ высокихъ ключей длиной приблизительно 90 километр. составляетъ $3^1/_2{}^0$ R = 4,4° С.

Во Франкфуртскомъ ключевомъ водопроводѣ длин. около 82 километр., трубы котораго имѣютъ земляную покрышку толщ. 1,8 метр., по Линдлею [2]) наибольшее колебаніе температуры воды у ключей составляетъ 0,3° С.; температура у поступленія водопровода въ резервуаръ бываетъ отъ 7,5 до 13° С., такъ что наибольшее повышеніе температуры $13 - 7{,}5 - 0{,}3 \geq 5{,}2°$ С

Въ водопроводѣ города Фрейбурга (въ Баваріи) длин. 5140 метр. и шир. 450 миллим. наибольшее повышеніе температуры составляетъ около 1° С.

[1]) Journ. f. Gasbel. u. Wasserv. т. 22, стр. 43. 1879 г.

[2]) Frankfurt und seine Bauten. 1886.

Данныя, приведенныя въ предыдущемъ примѣрѣ (стр. 576), соотвѣтствуютъ Регенсбургскому водопроводу, въ которомъ повышеніе температуры въ дѣйствительности составляетъ 0,15 до 0,17° С.

Нагрѣваніе воды въ главномъ водопроводѣ и распредѣлительныхъ сѣтяхъ водоснабженія города Цюриха втеченіе лѣтнихъ мѣсяцевъ видно изъ таблицы, помѣщенной въ отд. II, гл. 4.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены результаты наблюденій надъ температурой воды въ Дрезденскомъ водопроводѣ у мѣста добыванія ея, въ напорномъ резервуарѣ и въ трубопроводѣ въ теченіи 1890 г.

	Температура воды въ главн. сборномъ колодцѣ въ град. Ц.			Температура воды въ напорномъ резервуарѣ въ град. Ц.			Температура воды въ трубопроводѣ въ град. Ц.			Средняя температура воздуха у напорнаго резервуара.		
	Высшая.	Низшая.	Средняя.	Высшая.	Низшая.	Средняя.	Высшая.	Низшая.	Средняя.	6 ч. утра.	3 ч. пополудни.	9 ч. вечера.
Январь . . .	8,8	4,8	6,0	8,6	4,2	6,4	7,6	4,2	5,9	−0,8	+2,1	−0,3
Февраль . . .	6,5	4,0	5,0	6,6	3,4	5,0	6,0	4,0	5,0	−5,1	−1,4	−5,4
Мартъ	7,8	4,0	5,2	6,6	4,6	5,6	7,2	4,6	5,4	−0,3	+8,0	+2,0
Апрѣль . . .	10,8	7,0	7,5	8,6	6,6	7,6	9,0	7,0	8,0	+1,9	+11,0	+4,0
Май	13,2	10,0	10,2	12,2	8,6	10,4	12,6	9,2	10,9	+9,8	+19,3	+10,9
Іюнь	13,8	12,4	12,5	13,6	12,2	12,9	13,6	12,4	13,0	+10,7	+18,0	+12,2
Іюль	15,4	13,4	14,0	15,0	13,6	14,3	15,2	13,8	14,5	+13,3	+21,0	+15,0
Августъ . . .	19,8	14,8	16,5	19,0	15,0	17,0	19,6	15,2	17,4	+14,3	+22,3	+16,0
Сентябрь . . .	16,8	14,2	15,5	16,8	14,2	15,5	17,6	14,6	16,1	+9,8	+16,5	+11,3
Октябрь . . .	14,2	11,5	13,0	14,2	12,2	13,2	14,6	12,2	13,4	+4,1	+9,0	+5,2
Ноябрь . . .	11,5	10,5	11,0	12,2	10,5	11,3	12,0	7,6	9,8	−0,1	+3,2	+0,3
Декабрь . . .	8,4	6,0	7,0	8,6	6,0	7,3	7,8	6,2	7,0	−8,1	−5,0	−8,0

Весьма интересны между прочимъ и наблюденія Винтера надъ водоснабженіемъ Висбадена, въ которомъ, такъ же какъ и въ Баденъ-Баденѣ, подпочва нагрѣвается частью водяными парами теплыхъ ключей и частью водопроводами изъ теплыхъ ключей.

6. Резервуары и эквивалентныя имъ сооруженія.

Если источникъ водоснабженія постоянно доставляетъ по проводу точно такое-же количество воды, какое заимствуется изъ провода въ мѣстѣ расхода, какъ это напр. имѣло мѣсто въ прежнее время при постоянно текущихъ колод-

цахъ, то для распредѣленія воды резервуаръ оказывается излишнимъ. Подобные случаи встрѣчаются въ практикѣ и въ настоящее время въ тѣхъ сооруженіяхъ, гдѣ вода подымается искусственнымъ путемъ, и производительность насосовъ во всякое время точно сообразовано съ дѣйствительнымъ расходомъ, при чемъ регулированіе давленія производится помощью вертикальныхъ трубъ или воздушныхъ котловъ.

Но если расходъ воды въ водопроводѣ измѣняется, причемъ притокъ воды постояненъ или измѣняется различно отъ расхода, то водопроводъ постоянно долженъ доставлять количество воды, соотвѣтствующее наибольшему расходу, или-же необходимо озаботиться тѣмъ, чтобы, при доставленіи количества воды, соотвѣтствующаго среднему расходу, вся вода, не расходуемая тотчасъ-же по своемъ поступленіи, могла-бы скопляться къ періоду наибольшаго расхода. Въ первомъ случаѣ вся доставляемая вода расходуется только въ періоды наибольшаго расхода, а въ остальное время она утекаетъ безполезно. Во второмъ-же случаѣ утеканіе не израсходованной воды предупреждается устройствомъ резервуара. Послѣдній представляетъ собой средство для уравниванія неправильнаго притока воды изъ источника съ постоянно мѣняющимся расходомъ ея, который бываетъ то больше, то меньше средняго расхода въ снабжаемой области.

Отсутствіе резервуара вызываетъ замѣтно большую стоимость главнаго провода, разсчитаннаго по наибольшему расходу; точно также при отсутствіи бака, и если въ водопроводѣ не устроенъ двойной проводъ, всякій перерывъ притока воды дѣлаетъ водоснабженіе невозможнымъ. При проводахъ подъ естественнымъ напоромъ источникъ водоснабженія долженъ доставлять ежесекундно количество воды, соотвѣтствующее наибольшему расходу ея въ секунду, а подобная производительность источника постоянно за весьма немногими исключеніями, какъ въ случаѣ рѣчной или озерной воды, сильно увеличиваетъ стоимость сборныхъ сооруженій.

Выше (см. гл. 2) мы опредѣлили наибольшій ежесекундный притокъ воды, соотвѣтствующій часовому максимуму въ день наибольшаго расхода при опредѣленномъ числѣ жителей. Обозначая это количество черезъ Q_1, а средній постоянный притокъ въ этотъ день — черезъ Q_2, при сохраненіи остальныхъ предыдущихъ обозначеній получаемъ зависимости:

$$Q_1 = 1{,}50\,Q_2;\; Q_1 = \sqrt{\frac{H D_1^5}{\lambda L}};\; Q_2 = \sqrt{\frac{H D_2^5}{\lambda L}},$$

гдѣ опять D_1 означаетъ ширину провода, соотвѣтствующую притоку Q_1, а D_2 — притоку Q_2 (см. отд. IV, гл. 16, ур. 3). Отсюда ширина или діаметры D_1 и D_2 получаются изъ соотношенія

$$\frac{D_1}{D_2} = \sqrt[5]{\frac{Q_1^2}{Q_2^2}} = \sqrt[5]{1{,}50^2} = 1{,}18,$$

которому соотвѣтствуютъ и стоимости провода. Такимъ образомъ при отсутствіи резервуара стоимость провода на 18% выше, нежели въ присутствіи резервуара, откуда слѣдуетъ, что резервуаръ будетъ тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ длиннѣе трубопроводъ, или чѣмъ больше его ширина (діаметръ) въ свѣту.

Если ввиду надежности дѣйствія водоснабженія вмѣсто одного провода съ резервуаромъ устроено два провода безъ резервуара (см. гл. 4), то отношеніе стоимостей будетъ $1{,}52 : 1{,}18 = 1{,}79$.

Емкость резервуара. Нетрудно вычислить объемъ резервуара, безусловно требуемый въ каждомъ данномъ случаѣ для уравниванія притока съ расходомъ, т. е. наименьшую емкость резервуара; для этого слѣдуетъ просто комбинировать требованія водоснабженія съ производительностью провода или источника добыванія воды.

Если эта послѣдняя оказывается неравномѣрной (если, напр., резервуаръ долженъ быть разсчитанъ на періодическія колебанія производительности ключей, или если прибѣгаютъ къ собиранію атмосферныхъ осадковъ), то емкость резервуара обыкновенно должна быть сдѣлана очень значительной. Для вычисленія емкости такихъ резервуаровъ нѣкоторыя исходныя точки были приведены нами выше (см. отд. II, гл. 1 и 2). По нимъ можно опредѣлить емкость бассейновъ и сборныхъ прудовъ, питаемыхъ атмосферными осадками, и проч., если они при равномѣрномъ или данномъ неравномѣрномъ расходѣ должны оставаться наполненными въ извѣстныхъ предѣлахъ. Подобными же вычисленіями можно опредѣлить емкость небольшихъ уравнительныхъ бассейновъ, регулирующихъ неправильности распредѣленія по сѣти снабжаемой мѣстности втеченіе недѣли или сутокъ при извѣстномъ по времени и количеству притокѣ. Если послѣдній имѣетъ постоянную величину, то требуемая наименьшая емкость резервуара получается очень легко; при перемѣнномъ же притокѣ наименьшая емкость резервуара главнымъ образомъ будетъ зависѣть отъ того, можемъ ли мы регулировать это измѣненіе относительно времени.

При постоянномъ притокѣ наименьшая емкость резервуара въ день наибольшаго расхода равна вышеприведенному „колеблющемуся дневному количеству“, объясненному нѣкоторыми примѣрами (см. гл. 1). Это колеблющееся дневное количество можетъ быть опредѣлено графически по фиг. 182, какъ площадь, заключенная между кривой расхода и горизонтальной линіей, соотвѣтствующей среднему расходу.

Такимъ же путемъ опредѣляется наименьшая емкость резервуара, назначеннаго для урегулированія колебаній втеченіи недѣли. Въ вышеприведенномъ примѣрѣ (см. гл. 1) эта наименьшая емкость для Цюрихскаго водоснабженія составляетъ $0{,}04 + 0{,}11 + 0{,}08 + 0{,}08 + 0{,}05 + 0{,}07 = 0{,}43$ средняго ежедневнаго расхода втеченіе соотвѣтствующей недѣли. Само собой разумѣется, помимо исчисленнаго объема резервуаръ долженъ еще имѣть объемъ, соотвѣтствующій суточнымъ колебаніямъ.

Если желательно принять въ разсчетъ годичныя колебанія расхода при постоянномъ притокѣ, то согласно сказанному въ гл. 1 и приведенной тамъ таблицѣ для южной Германіи объемъ резервуара будетъ $0{,}10 + 0{,}25 + 0{,}30 + 0{,}30 + 0{,}25 + 0{,}15 = 1{,}35$ ежемѣсячнаго средняго расхода, и т. д.

Если при перемѣнномъ притокѣ имѣется возможность увеличить притокъ во время сильнаго расхода и обратно, или если въ случаѣ временныхъ перерывовъ притока имѣется возможность производить совпаденіе этихъ перерывовъ съ часами наименьшаго расхода, то оказывается достаточной сравнительно небольшая емкость резервуара, и обратно. Вычисленіе емкости резервуаровъ лучше всего выясняется нѣкоторыми примѣрами.

Примѣръ 1. Насосъ установленъ для питанія водопровода, въ которомъ часовое колебаніе расхода происходитъ подобно приведенному выше (гл. 1) для Дрезденскаго водопровода. Насосъ работаетъ съ 6 час. утра до 8 ч. вечера и втеченіе этого времени равномѣрно даетъ въ часъ 7,14% дневной потребности въ водѣ. Требуется опредѣлить наименьшую емкость резервуара, а также и объемъ, который слѣдуетъ придать резервуару въ томъ случаѣ, если насосъ будетъ работать только съ 8 час. утра до 6 час. вечера, доставляя въ этомъ случаѣ ежечасно 10% дневной потребности.

Если черезъ q обозначимъ въ % ежечасный притокъ (помощью насосовъ), а черезъ r — ежечасно расходуемое количество воды, то разность $q - r$ представитъ собой количество

воды, ежечасно притекающей въ резервуаръ или заимствуемой изъ него, смотря по тому, будетъ ли эта разность положительна или отрицательна. Такъ какъ расходъ и притокъ въ теченіи 24 часовъ одинаковы между собой, то общая сумма положительныхъ или отрицательныхъ разностей даетъ емкость резервуара. При этомъ получается слѣдующая таблица:

Работа отъ 6 ч. утра до 8 ч. вечера.					Работа отъ 8 ч. утра до 6 ч. вечера.				
Время.	q въ %.	v въ %.	$q-v$. +	$q-v$. −	Время.	q въ %.	v въ %.	$q-v$. +	$q-v$. −
Пополуночи.					Пополуночи.				
12—1	0,00	1,48	—	1,48	12—1	0,00	1,48	—	1,48
1—2	0,00	1,11	—	1,11	1—2	0,00	1,11	—	1,11
2—3	0,00	0,74	—	0,74	2—3	0,00	0,74	—	0,74
3—4	0,00	1,11	—	1,11	3—4	0,00	1,11	—	1,11
4—5	0,00	1,48	—	1,48	4—5	0,00	1,48	—	1,48
4—6	0,00	2,21	—	2,21	5—6	0,00	2,21	—	2,21
6—7	7,14	5,17	1,97	—	6—7	0,00	5,17	—	5,17
7—8	7,14	4,43	2,71	—	7—8	0,00	4,43	—	4,43
8—9	7,14	5,17	1,97	—	8—9	10,00	5,17	4,83	—
9—10	7,14	5,17	1,97	—	9—10	10,00	5,17	4,83	—
11 11	7,14	5,54	1,60	—	10—11	10,00	5,54	4,46	—
11—12	7,14	5,90	1,24	—	11—12	10,00	5,90	4,10	—
Пополудни.					Пополудни.				
12—1	7,14	6,27	0,87	—	12—1	10,00	6,27	3,73	—
1—2	7,14	5,90	1,24	—	1—2	10,00	5,90	4,10	—
2—3	7,14	5,17	1,97	—	2—3	10,00	5,17	4,83	—
3—4	7,14	5,90	1,24	—	3—4	10,00	5,90	4,10	—
4—5	7,14	5,90	1,24	—	4—5	10,00	5,90	4,10	—
5—6	7,14	6,64	0,50	—	5—6	10,00	6,64	3,36	—
6—7	7,14	6,64	0,50	—	6—7	0,00	6,64	—	6,64
7—8	7,14	5,54	1,60	—	7—8	0,00	5,54	—	5,54
8—9	0,00	5,17	—	5,17	8—9	0,00	5,17	—	5,17
9—10	0,00	3,69	—	3,69	9—10	0,00	3,69	—	3,69
10—11	0,00	2,21	—	2,11	10—11	0,00	2,21	—	2,21
11—12	0,00	1,48	—	1,48	11—12	0,00	1,48	—	1,48
	99,96	100,02	20,62	**20,68**		100,00	100,02	42,44	**42,46**

Отсюда видно, что въ первомъ случаѣ емкость резервуара должна быть по меньшей мѣрѣ 20,7%, а во второмъ не меньше 42,5% наибольшаго дневного расхода.

Примѣръ 2. Для дѣйствія упомянутаго въ главѣ 2 (стр. 523) водопровода имѣются въ распоряженіи 5 водоподъемныхъ машинъ, изъ коихъ каждая въ состояніи ежечасно доставлять 1,4% суточнаго расхода въ день наибольшаго потребленія. Требуется опредѣлить

распредѣленіе работы машинъ при томъ условіи, что работа производится непрерывно отъ полуночи до полуночи слѣдующаго дня, что резервуаръ емкостью въ 3,33% дневного расхода при началѣ работы бываетъ опорожненъ, а во время работы не теряется воды изъ резервуара черезъ сливъ.

Принимая напр. часовые расходы водоснабженія Берлина за Іюль мѣсяцъ 1882 г. (приведенные въ отд. II, гл. 7), получимъ расположеніе, показанное въ слѣдующей таблицѣ.

Время.	Притокъ q, Число машинъ.	Притокъ q, Количество воды въ %.	Расходъ въ %.	$q-r$ +	$q-r$ —	Объемъ воды въ резервуарѣ въ концѣ этого времени.	ПРИМѢЧАНІЯ.
12— 1	1	1,40	1,37	0,03	—	0,03	Наибольшее количество воды въ резервуарѣ видно изъ жирно напечатанной цифры.
1— 2	1	1,40	1,42	—	0,02	0,01	
2— 3	1	1,40	1,38	0,02	—	0,03	
3— 4	2	2,80	1,78	1,02	—	1,05	
4— 5	2	2,80	2,31	0,49	—	1,54	
5— 6	2	2,80	2,88	—	0,08	1,46	
6— 7	3	4,20	4,51	—	0,31	1,15	
7— 8	4	5,60	5,40	0,20	—	1,35	
8— 9	4	5,60	5,80	—	0,20	1,15	
9—10	4	5,60	6,13	—	0,53	0,62	
10—11	5	7,00	6,23	0,77	—	1,39	
11—12	5	7,00	6,19	0,81	—	2,20	
12— 1	4	5,60	5,53	0,07	—	2,27	
1— 2	4	5,60	5,50	0,10	—	2,37	
2— 3	4	5,60	5,48	0,12	—	2,49	
3— 4	4	5,60	5,51	0,09	—	2,58	
4— 5	4	5,60	5,51	0,09	—	2,67	
5— 6	4	5,60	5,57	0,03	—	2,70	
6— 7	4	5,60	5,14	0,46	—	**3,16**	Нулевой уровень воды въ резервуарѣ можетъ быть достигнутъ работой насоса втеченіе только 1/4 часа въ послѣдній часъ, т. е паузой въ 3/4 часа.
7— 8	3	4,20	4,61	—	0,41	2,75	
8— 9	3	4,20	4,17	0,03	—	2,78	
9—10	2	2,80	3,36	—	0,56	2,22	
10—11	1	1,40	2,48	—	1,08	1,14	
11—12	1	1,40	1,73	—	0,33	0,81	
		100,80	99,99	4,33	3,52		

Изъ этой таблицы видно, что для даннаго случая оказывается вполнѣ достаточнымъ резервуаръ емкостью въ 3,16% дневного расхода, такъ что при началѣ работы въ нашемъ резервуарѣ можетъ находиться еще нѣкоторое количество воды, соотвѣтствующее 0,17% дневного расхода, причемъ во время работы вода изъ него сливаться не будетъ. Этотъ уровень воды достигается тѣмъ, что втеченіе времени между 11 и 12 час. ночи, когда работаетъ только одна машина, насосъ заставляютъ работать только нѣсколько больше четверти часа.

Такимъ образомъ мы видимъ, что наименьшая емкость резервуара при одной машинѣ, работающей втеченіе ограниченнаго числа часовъ (при дневной только работѣ) довольно велика и, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, гораздо больше, нежели при постоянной работѣ машины; она, наоборотъ, весьма мала или даже приближается къ нулю въ томъ случаѣ, когда помощью извѣстнаго числа машинъ возможно выравнить колебанія расхода, какъ мы это видѣли выше.

При постоянномъ притокѣ и преимущественно при длинныхъ трубопроводахъ емкость резервуара обыкновенно принимается равной такъ называемому среднему дневному расходу (т. е. полному годовому расходу, дѣленному на 365). Этотъ расходъ равенъ $\frac{100}{1,5} = 67\%$ наибольшаго дневного расхода, между тѣмъ какъ по приведенному разсчету требуется отъ одной трети до половины этого наибольшаго расхода. Излишній остатокъ можно разсматривать, какъ запасъ на случай исправленій главнаго трубопровода и для случайныхъ быстро наступающихъ увеличеній расхода, какъ напр. въ случаѣ пожара и проч.

Тимъ даетъ соотношенія между емкостью резервуара и наибольшимъ дневнымъ расходомъ для цѣлаго ряда водоснабженій германскихъ городовъ, а именно: Обергаузенъ 0,05 Любекъ 0,10; Гамбургъ (старый водопроводъ) 0,13; Кельнъ 0,14; Бреслау 0,16; Бохумъ 0,16 Страсбургъ 0,17; Мюльгеймъ на Рейнѣ 0,17; Дессау 0,17; Крефельдъ 0,20; Мюнстеръ 0,21; Дюссельдорфъ 0,22; Лейпцигъ 0,23; Лигницъ 0,24; Бременъ 0,26; Шарлоттенбургъ 0,28; Дортмундъ 0,28; Штеттинъ 0,29; Бернбургъ 0,30, Рашиборъ 0,33; Альтона 0,33; Виттенъ 0,34; Киль 0,36 Данцигъ 0,38; Галле на З. 0,40; Эссенъ 0,40; Вюрцбургъ 0,40; Кенигсбергъ 0,42; Боннъ 0,42 Герлицъ 0,47; Регенсбургъ 0,49; Мюльгеймъ 0,49; Ростокъ 0,57; Эльберфельдъ 0,66; Мецъ 0,67 Хемницъ 0,68; Гельзенкирхенъ 0,71; Дюисбургъ 0,71; Дрезденъ 0,74; Позенъ 0,88; Ганноверъ 0,97; Гейльброннъ 0,97; Ахенъ 1,36; Нордгаузенъ 1,43; Висбаденъ 1,46; Бамбергъ 1.62, Потсдамъ 2,21. При постоянномъ и равномѣрномъ притокѣ, сообразно съ такъ называемымъ колеблющимся дневнымъ количествомъ, уравнительные резервуары, по Тиму, должны имѣть емкость въ 16,35 до 24,36% наибольшаго дневного расхода. Емкость резервуаровъ для водоснабженія англійскихъ городовъ приводится въ новѣйшихъ издаваемыхъ C. W. Hartings статистическихъ свѣдѣніяхъ объ англійскихъ водопроводахъ [1]). Свѣдѣнія объ американскихъ водопроводахъ можно найти въ книгѣ: Baker, M. N. The manual of American waterworks. New-York. 1892. Изъ свѣдѣній о французскихъ водопроводахъ упомянемъ здѣсь, что общая емкость всѣхъ Парижскихъ резервуаровъ нѣсколько больше средняго дневного расхода. Устроенные частью въ видѣ штоленъ и расположенные въ скалахъ итальянскіе резервуары городовъ Kagliaru (39000 жителей) и Неаполя (351000 жит.) имѣютъ емкости соотвѣтственно 10240 и 100000 куб. метр.; емкость резервуара города Флоренціи (191000 жит.) составляетъ 18000 куб. метр. Вѣна (1365000 жит.) обладаетъ резервуарами съ общей емкостью въ 200000 куб. метр. Устроенные большей частью по патенту Инца желѣзные резервуары въ различныхъ городахъ имѣютъ слѣдующія емкости въ куб. метрахъ: Шверинъ (34000 жит.) 350; Ремшейдъ (40000 жит.) 400; Кольмаръ (30000 жит.) 1200; Галле (101000 жит.) 1200; Вормсъ (25000 жит.) 1200; Эссенъ (79000 жит.) 2000; Маннгеймъ (79000 жит.) 2000; Любекъ (64000 жит.) 2100; Ливерпуль (518000 жит.) 2930. Затѣмъ желѣзные резервуары въ городахъ имѣютъ емкости: Обергаузенъ 200

[1]) По Фрюлингу (Handb. d. Ing.-Wissensch. т. 3, ч. I. Лейпцигъ 1893) англійскіе инженеры дѣлаютъ емкость резервуара для длины трубопровода до 80 килом. равной запасу на 48 часовъ дѣйствія, а для болѣе длинныхъ трубопроводовъ — соотвѣтственно больше.

Эммерихъ и Леейварденъ (Голландія) по 500, Дюренъ 550, Везель, Диденгофенъ и Шидамъ (Голландія) по 600, Бремергафенъ 650, Мерзебургъ 850 куб. метр.

Придаваемая резервуарамъ емкость, какъ говоритъ Дюпюи, въ интересахъ водоснабженія никогда не можетъ оказаться достаточной, такъ какъ съ увеличеніемъ ея увеличивается надежность водоснабженія. Этого принципа всегда слѣдуетъ держаться въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, если только это допускается имѣющимися въ распоряженіи средствами; при водоподъемныхъ машинахъ и въ ровныхъ мѣстностяхъ надежность дѣйствія водоснабженія, преимущественно въ крупныхъ сооруженіяхъ, гораздо дешевле достигается увеличеніемъ числа машинъ. Точно также при единичномъ водоснабженіи, а также при водоснабженіи изъ различныхъ источниковъ, при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ оказывается выгоднымъ вмѣсто одного резервуара устроить ихъ нѣсколько, такъ какъ этимъ достигается увеличеніе надежности дѣйствія водоснабженія.

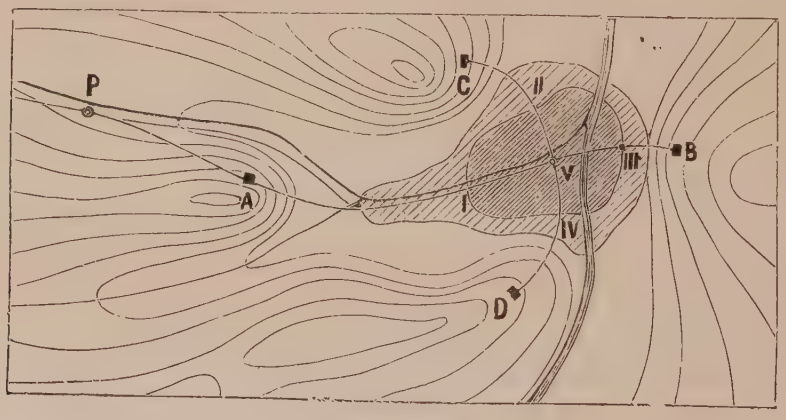
Высота расположенія резервуаровъ и амплитуда колебаній уровня воды. При распредѣленіи подъ естественнымъ напоромъ требуемая въ трубопроводѣ наименьшая высота напора обусловливаетъ собой наинизшее положеніе, которое можетъ принять уровень воды въ резервуарѣ; въ каменныхъ резервуарахъ сливное отверстіе располагается не выше 6 до 8 метр. (Неаполь) надъ этимъ наинизшимъ уровнемъ. Эти предѣлы могутъ быть уменьшены еще имѣющимся въ распоряженіи паденіемъ главнаго провода; увеличенію этихъ предѣловъ препятствуетъ допускаемое давленіе на фундаментъ резервуара, который, кромѣ вѣса воды, долженъ еще выдержать нагрузку отъ вѣса каменной кладки резервуара вмѣстѣ въ земляной перекрышей. Наименьшая амплитуда между наинизшимъ уровнемъ воды и сливнымъ отверстіемъ можетъ быть принята въ 2, 5 до 3 метр.; дальнѣйшее уменьшеніе этой амплитуды можетъ оказаться вреднымъ ввиду вліянія измѣненія температуры и проч. Если резервуары состоятъ изъ желѣзныхъ бассейновъ, то можно выбрать болѣе значительныя амплитуды; но и въ этомъ случаѣ въ практикѣ обыкновенно не переходятъ за предѣлъ 10 до 12 метр., независимо отъ такъ называемыхъ стояковъ или вертикальныхъ трубъ. Между приведенными предѣлами, сообразно условіямъ фундамента, существуетъ свободный выборъ емкости бака, который долженъ быть сдѣланъ такъ, чтобы данная емкость бака получилась при наименьшей его стоимости.

Рѣшеніе этого вопроса обыкновенно получаютъ такимъ образомъ, что сперва опредѣляютъ вліяніе высшаго или низшаго слива на діаметръ провода, и затѣмъ изъ различныхъ высотъ воды и различныхъ конструкцій выбираютъ наиболѣе подходящія, причемъ конструкція въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, отъ способа перекрытія, отъ употребляемыхъ матеріаловъ и проч., даже при одинаковой высотѣ воды, можетъ оказаться дороже или дешевле.

Фрюлингъ опредѣляетъ значеніе амплитуды (т. е. высоты воды въ резервуарахъ) по соотвѣтствующей извѣстнымъ даннымъ наименьшей стоимости; онъ нашелъ, что въ тѣхъ случаяхъ, когда стоимость единицы длины наружныхъ стѣнъ пропорціональна квадрату высоты воды h и нѣкоторому практическому коэффиціенту m, наивыгоднѣйшее значеніе h пропорціонально корню 5-ой степени изъ емкости резервуара, помноженному на нѣкоторый постоянный коэффиціентъ, опредѣляемый по приведеннымъ выше соображеніямъ. Относительно открытыхъ бассейновъ съ перегородками и безъ нихъ мы говорили выше (см. отд. II, гл. 5).

Положеніе резервуаровъ. Нетрудно понять, что распредѣлительный резервуаръ тѣмъ лучше будетъ удовлетворять своей цѣли, состоящей въ быстрой отдачѣ скопленнаго въ немъ запаса воды для періодовъ усиленнаго ея

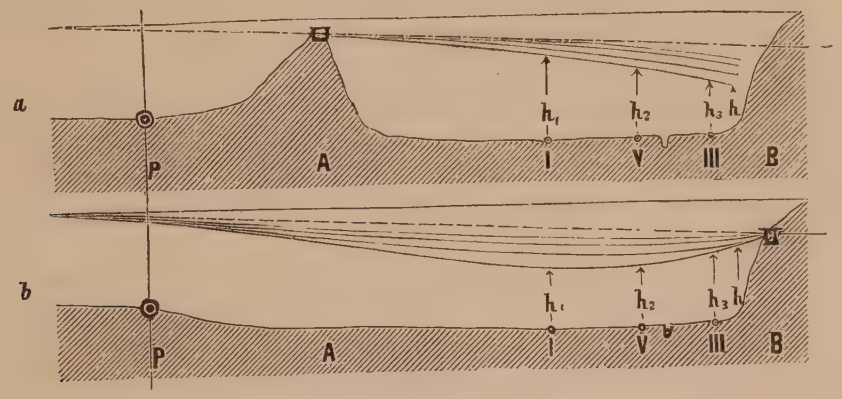
расходованія, чѣмъ ближе онъ расположенъ къ мѣсту расхода воды. Ввиду этого наилучшее положеніе, которое можетъ занять резервуаръ, будетъ въ центрѣ тяжести снабжаемой площади города, такъ какъ изъ этого пункта вода можетъ протекать ко всѣмъ мѣстамъ ея потребленія съ наименьшей потерей напора въ трубахъ, что весьма важно въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣющаяся въ распоряженіи полезная высота напора сама по себѣ не велика. Но внѣшнія условія весьма рѣдко благопріятствуютъ выбору подобнаго пункта: обыкновенно площади города такъ застроены, что наибольшая часть домовъ расположена на ровныхъ мѣстностяхъ, и только весьма ничтожная часть всѣхъ домовъ устроена на склонахъ горъ или на отдѣльно стоящихъ горахъ. Такимъ образомъ центръ тяжести города можетъ быть безъ излишнихъ затратъ примѣненъ для постановки резервуара съ нижнимъ подъ нимъ строеніемъ только въ томъ случаѣ, когда мѣстность оказывается совершенно ровной; если же, наоборотъ, вблизи города имѣются возвышенныя мѣста, то ввиду возможно меньшей стоимости устройства при возможно большей емкости резервуары должны быть устроены именно на этихъ возвышенностяхъ. Необходимо также принять во вниманіе, что мѣсто для постройки резервуара въ центрѣ города само по себѣ чрезвычайно дорого, и что предположеніе о постройкѣ резервуара на подобномъ мѣстѣ во многихъ случаяхъ встрѣчаетъ болѣе или менѣе основательные протесты, между тѣмъ какъ на склонахъ горъ можно ожидать болѣе низкихъ цѣнъ на землю и меньше препятствій къ возведенію резервуаровъ. Тѣмъ не менѣе и въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ располагать резервуаръ по возможности ближе къ снабжаемой мѣстности.



Фиг. 309.

Въ прежнее время обыкновенно напорные резервуары располагались такъ, что они до нѣкоторой степени представляли собой переходы отъ главнаго провода къ городской сѣти. Въ этомъ случаѣ, которому на фиг. 309 соотвѣтствуетъ положеніе *A*, подобное расположеніе имѣетъ то преимущество, что движеніе воды происходитъ по одному только направленію, и что поступающія въ резервуаръ количества воды могутъ быть измѣрены и сравнены съ измѣряемыми количествами воды, расходуемой въ снабжаемой мѣстности. Неудобство подобнаго расположенія состоитъ въ томъ, что размѣръ идущаго отъ резервуара къ снабжаемой мѣстности главнаго провода *A* I долженъ быть разсчитанъ по секундной производительности при наибольшемъ расходѣ въ день наи-

большаго потребленія воды, что всякое поврежденіе этого главнаго провода A I имѣетъ своимъ послѣдствіемъ прекращеніе дѣйствія водоснабженія, и наконецъ, что вода никогда не поступаетъ въ сѣть прямо, а только послѣ большей или меньшей задержки ея въ резервуарѣ. Распредѣленіе происходитъ такимъ образомъ, что высоты напора (h_1, h_2, h_3 и т. д.) въ отдѣльныхъ мѣстахъ сѣти уменьшаются по мѣрѣ удаленія отъ резервуара къ концу сѣти, какъ показано на фиг. 310.



Фиг. 310.

Если, наоборотъ, представимъ себѣ резервуаръ въ пунктѣ B (фиг. 309), то онъ будетъ расположенъ на концѣ идущаго отъ P главнаго провода, который на протяженіи отъ I до III одновременно служитъ и распредѣлительнымъ проводомъ. Линія высотъ напора при усиленномъ расходѣ приметъ видъ, изображенный линіей $A\,V\,B$ на продольной профили (фиг. 310b). Нетрудно видѣть, что въ этомъ случаѣ питаніе части города (IV) происходитъ непосредственно изъ главнаго провода, между тѣмъ какъ изъ резервуара B снабжается другая часть (III V). Такимъ образомъ въ часы наибольшаго расхода по выходящему изъ P проводу должна протекать только часть—половина—того количества воды, которое въ первомъ случаѣ должно было бы протекать по выходящему изъ A главному проводу A I. Дѣйствительная высота напора при наибольшемъ расходѣ въ центрѣ города достигаетъ ея minimum'a (h_5), и отъ этого мѣста по обѣ стороны она опять возростаетъ (h_1, h_3, h); абсолютныя величины этихъ высотъ вычисляются по правиламъ, приводимымъ ниже (отд. IV, гл. 17). Другое преимущество этого расположенія состоитъ въ томъ, что поврежденіе главнаго провода въ этомъ случаѣ не имѣетъ своимъ послѣдствіемъ прекращеніе водоснабженія; при всякомъ поврежденіи главнаго провода водоснабженіе происходитъ изъ резервуара B, и, наоборотъ, при нарушеніи провода на протяженіи B III водоснабженіе города производится по проводу P I. Кромѣ того въ жаркое время года вода поступаетъ въ сѣть болѣе свѣжею и прохладною, такъ какъ при усиленномъ расходѣ сѣть питается частью, а при слабомъ расходѣ цѣликомъ, изъ P (т. е. прямо изъ источника, насосной станціи и проч.), а наполненіе резервуара происходитъ всегда въ часы наименьшаго расхода, слѣдовательно ночью, когда внѣшняя температура лѣтомъ бываетъ возможно низкая.

При указанныхъ преимуществахъ эта система обладаетъ двумя недостатками; во-первыхъ теченія по распредѣлительной сѣти чаще происходятъ по противоположнымъ направленіямъ, нежели при расположеніи резервуара въ A,

и во-вторыхъ измѣреніе поступающей въ резервуаръ воды не даетъ никакой исходной точки для сравненія съ расходомъ воды по снабжаемой мѣстности.

Если помимо резервуара *B* будетъ поставленъ еще резервуаръ *A*, то второй изъ указанныхъ недостатковъ устранится, а въ остальномъ распредѣленіе будетъ происходить такъ же выгодно, какъ упомянуто выше. Введеніемъ еще третьяго резервуара достигается еще болѣе равномѣрное распредѣленіе давленія въ сѣти и еще бо́льшая надежность дѣйствія водоснабженія, причемъ водоснабженіе теперь не будетъ нарушено даже при одновременномъ поврежденіи на участкахъ *A* I и *B* III. Добавленіемъ четвертаго резервуара надежность дѣйствія сооруженія еще увеличится.

Такимъ образомъ во всякомъ водоснабженіи оказывается выгоднымъ вмѣсто одного резервуара установить нѣсколько отдѣльныхъ меньшихъ резервуаровъ равной общей емкости, расположенныхъ непосредственно вблизи распредѣлительной сѣти.

Само собой разумѣется, всѣ эти соображенія относятся также къ тому случаю, если вмѣсто провода съ естественнымъ напоромъ вода направляется къ снабжаемой мѣстности изъ *P* по напорному трубопроводу (см. гл. 2). Если насосы доставляютъ воду только въ извѣстные часы дня, то это обстоятельство необходимо принять въ соображеніе при вычисленіи размѣра провода, емкости резервуара и проч., такъ какъ въ этомъ случаѣ водоснабженіе не всегда происходитъ съ двухъ сторонъ.

Опытъ показалъ, что измѣненіе направленія теченія воды по сѣти вызываетъ различныя неудобства только въ дурно обслуживаемыхъ сооруженіяхъ, въ которыхъ не имѣется очистительныхъ шлюзовъ, вслѣдствіе чего въ трубахъ происходитъ осажденіе ила; въ сѣтяхъ съ хорошимъ за ними присмотромъ постановка резервуаровъ на концахъ главныхъ проводовъ нигдѣ не имѣла никакихъ вредныхъ послѣдствій. Впрочемъ, происходящія при подобномъ расположеніи сѣти движенія воды до настоящаго времени еще точно не изучены. Ниже (гл. 8) нами будетъ указанъ способъ вычисленія, по которому можно болѣе или менѣе точно прослѣдить за этими движеніями; относительно условій, имѣющихъ мѣсто на соединяющемъ оба резервуара главномъ проводѣ, будетъ нами сказано ниже (отд. IV, гл. 17), и будетъ приведена зависимость между емкостью резервуара, діаметромъ провода и т. д.

Общее устройство резервуаровъ въ строительномъ отношеніи. Независимо отъ искусственныхъ запрудъ и цистернъ, разсмотрѣнныхъ нами въ предыдущемъ отдѣлѣ, вообще можно различать троякаго рода резервуары:

1. Водопроводные каналы, которые вслѣдствіе значительной своей емкости могутъ служить резервуарами.

2. Резервуары, которые могутъ быть расположены на материкѣ или внутри его.

3. Резервуары, которые могутъ быть устроены только на фундаментахъ или нижнихъ строеніяхъ, вслѣдствіе необходимости расположенія ихъ на болѣе или менѣе значительной вышинѣ надъ имѣющейся въ распоряженіи площадью.

Что касается устройства резервуаровъ первыхъ двухъ родовъ, то оно должно удовлетворять всѣмъ указаннымъ въ отд. II и приведеннымъ выше условіямъ.

Длинные водопроводные каналы обыкновенно имѣютъ весьма малое паденіе и сравнительно большое поперечное сѣченіе воды; при подобныхъ условіяхъ, какъ мы указали выше (гл. II), они могутъ служить сборными бассейнами.

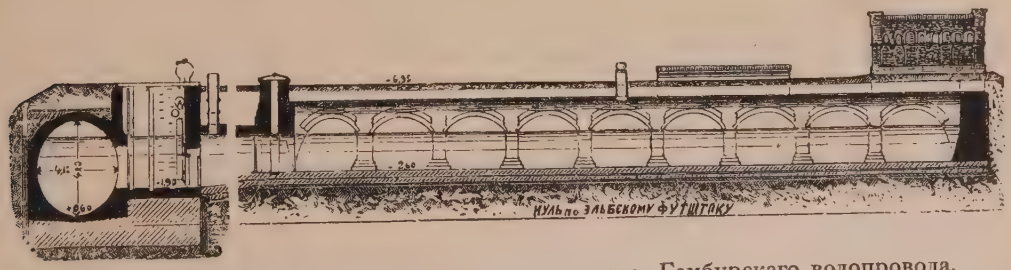
При расходованіи воды уровень воды у нижняго конца канала понижается, и при прекращеніи расхода онъ опять подымается, такъ что при медленномъ притокѣ воды изъ источника взамѣнъ израсходованной, на всемъ протяженіи канала образуется какъ бы блуждающая впередъ и назадъ волна.

Обратное теченіе волны будетъ происходить весьма быстро насчетъ накопленнаго въ каналѣ запаса воды близъ мѣста ея расходованія; эти волны будутъ затѣмъ постепенно уменьшаться по мѣрѣ удаленія ихъ отъ мѣста расходованія къ верхнему концу канала (къ источнику). Если, какъ это обыкновенно происходитъ при длинныхъ водоводахъ, расходъ воды уменьшается раньше достиженія волной верхняго конца канала, то начинается обратное движеніе волны, т. е. впередъ, но это явленіе можетъ происходить только весьма медленно, такъ какъ въ верхнихъ участкахъ канала, ближайшихъ къ источнику, изъ котораго вода поступаетъ въ каналъ, паденіе увеличилось весьма мало, и даже въ томъ случаѣ, когда черезъ каналъ протекаетъ количество воды, большее нормальнаго, скорость теченія измѣняется только весьма мало.

Если нормальное паденіе α, при которомъ мокрый периметръ канала составляетъ p, а поперечное сѣченіе воды F, или при которомъ скорость воды въ каналѣ составляетъ u, измѣняется въ паденіе α_1 съ соотвѣтственными значеніями F_1, p_1, u_1, и если Q и Q_1 соотвѣтственно означаютъ количества воды, протекающей черезъ каналъ въ первомъ и во второмъ случаѣ, то между этими величинами необходимо должна существовать зависимость:

$$\frac{u}{u_1} = \sqrt{\frac{F\,p_1\,\alpha}{F_1\,p\,\alpha_1}} = \sqrt{\frac{Q\,p_1\,u_1\,\alpha}{Q_1\,p\,u\,\alpha_1}} = \sqrt[3]{\frac{Q\,p_1\,\alpha}{Q_1\,p\,\alpha_1}} = m\sqrt[3]{\frac{Q}{Q_1}}.$$

Коэффиціентъ m во всякомъ случаѣ < 1, но большей частью значеніе его весьма близко подходитъ къ единицѣ. Отсюда видно, что скорость измѣняется приблизительно въ отношеніи кубич. корней изъ протекающихъ количествъ воды, такъ что даже замѣтныя измѣненія послѣднихъ не вызовутъ существенныхъ измѣненій скорости притока.



Фиг. 311. Резервуаръ у конца впускного канала Гамбурскаго водопровода.

Это весьма благопріятное обстоятельство при каналахъ съ небольшимъ паденіемъ уровня устраняетъ всякій натискъ воды, вызывающій ея переливаніе при переходѣ отъ уклона къ подъему, между тѣмъ какъ увеличенію потребности, въ случаѣ его появленія, можетъ быть удовлетворено тѣмъ быстрѣе, чѣмъ больше водяное поперечное сѣченіе въ каналѣ.

Обыкновенно у нижняго конца подобнаго канала располагаютъ еще дополнительный резервуаръ, вслѣдствіе чего всѣ движенія воды происходятъ еще

плавнѣе или равномѣрнѣе. На фиг. 311 показано подобное расположеніе въ томъ видѣ, какъ оно устроено въ новомъ Гамбургскомъ водопроводѣ [1]).

Сливныя, спускныя и запорныя приспособленія во всѣхъ этихъ сооруженіяхъ одинаковы съ тѣми, которыми снабжаются нижеописанные каменные резервуары.

Резервуары, устраиваемые въ материковой почвѣ, возводятся или въ вырытыхъ, сверху открытыхъ, ямахъ и затѣмъ покрываются, или-же прокладываются въ видѣ широкихъ штоленъ (подваловъ) въ горахъ. Первый методъ устройства резервуаровъ наиболѣе часто примѣняется до настоящаго времени, а въ ровныхъ мѣстностяхъ онъ представляетъ собой единственный методъ устройства резервуаровъ; для гористыхъ мѣстностей второй методъ имѣетъ несомнѣнныя преимущества, главнымъ образомъ въ смыслѣ сохраненія или уравниванія температуры воды съ средней температурой почвы въ штолнѣ или туннели.

При устройствѣ резервуаровъ въ открытыхъ сверху ямахъ главный расходъ обусловливается длиной и поперечнымъ сѣченіемъ наружныхъ стѣнъ. Поэтому слѣдуетъ сперва изучить, какимъ именнно путемъ возможно уменьшить эту затрату. Принимая во вниманіе, что изъ всѣхъ геометрическихъ фигуръ кругъ представляетъ собой единственную фигуру, которая при данной площади имѣетъ наименьшій периметръ, необходимо прежде всего разсмотрѣть, не можетъ-ли резервуаръ быть изготовленъ съ круглымъ очертаніемъ. Такъ какъ при этомъ внѣшнее давленіе (давленіе земли) всегда больше давленія воды извнутри резервуара, то размѣры стѣнъ могутъ быть уменьшены; кромѣ того существовавшія въ прежнее время затрудненій при перекрытіи подобныхъ бассейновъ въ настоящее время въ значительной мѣрѣ устранены введеніемъ весьма цѣлесообразной комбинаціи бетона съ желѣзомъ. Между прямоугольными очертаніями каменныхъ резервуаровъ квадратное представляетъ собой такое очертаніе, которое при данной площади имѣетъ наименьшій периметръ; но между тѣмъ при болѣе значительныхъ площадяхъ это очертаніе не можетъ быть примѣнено, такъ какъ получаются слишкомъ широкіе пролеты, которые нельзя покрывать сводами, такъ что необходимо для нихъ устроить отдѣльные опоры въ видѣ промежуточныхъ стѣнъ, при чемъ получается извѣстное число прямоугольныхъ отдѣленій, обусловливаемое предѣломъ пролета, покрываемаго сводомъ. Эти промежуточныя стѣны должны быть снабжены отверстіями для образованія сообщенія между отдѣленіями бака. Такимъ образомъ часто оказывается, что квадратное очертаніе бака не всегда соотвѣтствуетъ наименьшей стоимости.

Для штольневыхъ (или подвальныхъ) резервуаровъ обыкновенно выбираютъ профиль туннели; толщина облицовки стѣнъ въ этомъ случаѣ обусловливается давленіемъ породы. Въ плотной породѣ безъ доступа къ ней воды можно ограничиться облицовкой только трещинъ и щелей, между тѣмъ какъ въ другихъ случаяхъ требуется полная облицовка, которой вообще придаютъ небольшіе размѣры.

Всѣ большіе резервуары устраиваются изъ двухъ отдѣленій, изъ которыхъ каждое можетъ быть наполнено и опорожнено независимо отъ другого, чтобы при чисткѣ или исправленіи резервуара всегда имѣлось-бы въ запасѣ одно изъ отдѣленій. Это расположеніе оказывается весьма цѣлесообразнымъ въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣется одинъ только резервуаръ, образующій собой

[1]) Meyer, F. A. Wasserwerk der freien und Hansenstadt Hamburg. 1894.

промежуточный органъ между главнымъ и распредѣлительнымъ проводомъ, хотя въ подобномъ случаѣ онъ можетъ быть замѣненъ обводнымъ каналомъ (какъ напр. непосредственнымъ питаніемъ изъ ключей и проч. или, въ случаѣ искусственнаго поднятія воды насосомъ,—промежуточной вертикальной трубой). Въ небольшихъ резервуарахъ или въ случаѣ устройства нѣсколькихъ резервуаровъ въ устройствѣ двухъ отдѣленій нѣтъ никакой необходимости, и оно должно быть по возможности избѣгнуто, если только оно вызываетъ излишнія траты, состоящія не только въ стоимости устройства промежуточныхъ стѣнъ, но также и въ стоимости двойныхъ комплектовъ приспособленій для впуска, выпуска, сливанія и опоражниванія.

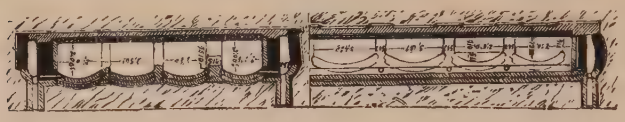
Добавочныя приспособленія представляютъ собой весьма важную часть сооруженія, и расположеніе ихъ зависитъ отъ положенія резервуара. Если послѣдній расположенъ предъ трубопроводомъ или сѣтью, то впускъ можетъ быть устроенъ или у подошвы резервуара или на высотѣ сливного отверстія. При накачиваніи насосами послѣднее расположеніе обыкновенно предпочитается, если придаютъ нѣкоторое значеніе постоянно одинаковой высотѣ нагнетанія; въ этомъ случаѣ запорное приспособленіе при выпускѣ оказывается излишнимъ. Если-же резервуаръ поставленъ за сѣтью, такъ что направленіе движенія во впускной трубѣ мѣняется, то послѣдняя должна оканчиваться у подошвы или дна бака (на 0,3 —0,6 метр. выше дна въ зависимости отъ количества осаждаемаго водой ила); для предупрежденія истеченія воды изъ резервуара въ случаѣ поврежденія трубы, на впускной трубѣ необходимо устроить запорное приспособленіе. Если резервуаръ расположенъ сбоку напорнаго трубопровода, питающаго еще одинъ выше расположенный резервуаръ, то впускъ въ резервуаръ послѣ его наполненія долженъ автоматически закрываться. Выпускная труба должна всегда начинаться у дна резервуара; спускная труба (для опоражниванія) должна быть устроена ниже дна, а сливное отверстіе должно располагаться на высотѣ наивысшаго уровня воды въ бакѣ. Само собой разумѣется, дно резервуара должно имѣть со всѣхъ сторонъ скатъ къ спускной трубѣ. Обыкновенно для запиранія каждаго отдѣльнаго трубопровода служатъ задвижки, расположенныя въ отдѣльной камерѣ, устраиваемой иногда надъ резервуаромъ, а иногда рядомъ съ нимъ. При каменныхъ резервуарахъ объ одно или два отдѣленія очень часто на сѣти устраиваются еще вертикальныя трубы или стояки, замѣняющіе собой резервуары, регулируя давленіе воды въ распредѣлительной сѣти, когда весь резервуаръ временно долженъ быть изъятъ изъ сѣти. Ниже мы выяснимъ это устройство нѣкоторыми примѣрами.

Особыхъ мѣръ для сохраненія извѣстной температуры въ бакѣ не требуется, преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда содержащаяся въ немъ вода помощью соотвѣтствующихъ покрытій до извѣстной степени предохранена отъ вліянія внѣшней температуры. Покрытіе резервуара вмѣстѣ съ тѣмъ образуетъ предохраненіе отъ пыли и другихъ внѣшнихъ засореній. При обыкновенно устраиваемыхъ перекрытіяхъ (см. ниже) въ нашемъ среднемъ климатѣ оказывается достаточной земляная насыпка толщ. 1,2 до 1,5 метр.; эта толщина насыпаемаго слоя можетъ быть увеличена по нѣкоторымъ другимъ соображеніямъ (см. ниже резервуаръ въ Баденѣ); такъ, напр., въ Лиллѣ толщина покрышки составляетъ 4,9 метра.

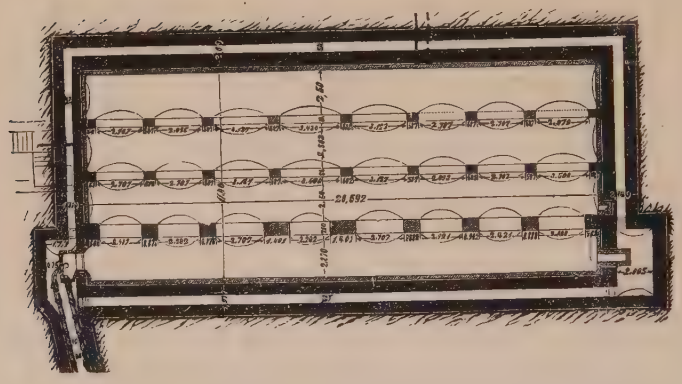
Исключительныя предохранительныя мѣры противъ измѣненій температуры требуются только въ весьма холодныхъ климатахъ (см. выше) или-же тогда, когда имѣемъ дѣло съ весьма чувствительными резервуарами для теплой воды. Эти мѣры состоятъ въ томъ, что резервуаръ устраивается съ двойными наружными стѣнами, между которыми оставляется воздушное пространство, иногда подогрѣваемое путемъ отопленія.

На фиг. 312 показано устройство, примѣненное фонъ Бокомъ въ 1862 г. при постройкѣ резервуара для теплой воды въ Вильдбадѣ. Какъ дно, такъ и стѣны и сводчатое покрытіе резервуара снабжены воздушными пространствами, иногда отапливаемыми. Ради экономіи наружныя стѣны устроены изъ бутовой кладки на известковомъ растворѣ и снабжены облицовкой изъ кирпича на цементномъ растворѣ, отстоящей отъ стѣнъ на разстояніе въ 5 сантим.; подпружныя арки и своды устроены изъ кирпича, причемъ послѣдніе сдѣланы толщ. 15 сантим. Верхній сводъ былъ устроенъ послѣ изготовленія внутренняго свода и покрыванія его водонепроницаемой крышкой; кладка свода производилась на песчаной подстилкѣ, которая затѣмъ была удалена. Для отвода воды, поступающей изъ окружающаго материка, и для возможности изслѣдованія водонепроницаемости резервуара вокругъ послѣдняго былъ устроенъ ходъ шир. 33 сантим. со стѣнками изъ бутовой кладки, а дно было снабжено водоотводомъ. Этотъ обходъ вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ также для регулированія температуры теплой воды помощью отверстій въ наружныхъ стѣнахъ резервуара и соотвѣтствующихъ отверстій надъ обходомъ, при чемъ это расположеніе исключаетъ всякую возможность засоренія резервуара. Притокъ отъ ключей въ резервуаръ происходитъ на днѣ послѣдняго помощью прочныхъ свинцовыхъ трубъ.

Поперечный разрѣзъ. Продольный разрѣзъ.



Планъ.



Фиг. 312. Резервуаръ для теплой воды въ Вильдбадѣ.

Опытъ съ этимъ резервуаромъ втеченіе почти 35 лѣтъ показалъ, что резервуаръ во всѣхъ отношеніяхъ удовлетворяетъ своему назначенію.

Перекрытія резервуаровъ вмѣстѣ съ тѣмъ препятствуютъ проникапію солнечнаго свѣта въ подземное пространство, устраняя такимъ образомъ развитіе растительности или другое ухудшеніе качествъ воды въ этихъ резервуарахъ, между тѣмъ какъ при открытыхъ резервуарахъ подобныя обстоятельства вполнѣ возможны и дѣйствительно обнаруживаются. Застой воды въ резервуарѣ въ достаточной степени предупреждается постояннымъ само собой устанавливающимся колебаніемъ уровня воды вверхъ и внизъ.

Руководствуясь англійскими образцами, а главнымъ образомъ примѣромъ Цюрихскаго водоснабженія, признали необходимымъ ограничить циркуляцію воды извѣстнымъ опредѣленнымъ путемъ, какъ это, напримѣръ, показано на фигурѣ 313, изображающей горизонтальный разрѣзъ резервуара у Фридбергскаго поста во Франкфуртѣ на Майнѣ. Въ этомъ резервуарѣ поступающая справа вода должна совершать цѣлый рядъ движеній впередъ и назадъ по проходамъ, образуемымъ въ резервуарѣ опорными стѣнами сводовъ. Это устройство

нашло себѣ множество подражаній. Такъ какъ промежуточныя стѣны должны быть устроены сплошными до единственнаго, имѣющагося въ каждой изъ нихъ, проходнаго отверстія, то въ сравненіи съ промежуточными, снабженными и по всей своей длинѣ множествомъ отверстій, стѣнами, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, здѣсь происходитъ значительная потеря мѣста, между тѣмъ какъ качества воды, какъ показали опыты, отъ этого нисколько не выигрываютъ, а теоретически они даже ухудшаются, вслѣдствіе развитія теплоты отъ тренія воды при энергичномъ ея движеніи.

Фиг. 313. Планъ большого резервуара Франкфуртскаго ключевого водопровода.

При выборѣ строительныхъ матеріаловъ для устройства резервуаровъ необходимо окончательно исключить всѣ тѣ матеріалы, которые въ соприкосновеніи съ водой перетерпѣваютъ какія либо измѣненія или растворяются ею, а слѣд. для этой цѣли не слѣдуетъ употреблять разбухающія породы, дурно обожженный кирпичъ и пр. Весьма обширное примѣненіе для этой цѣли находитъ себѣ бетонъ. Впрочемъ для этой цѣли оказалась вполнѣ пригодной бутовая кладка на известковомъ растворѣ, всѣ возраженія противъ которой оказались несправедливыми. Точно также противъ примѣненія чугунныхъ, а преимущественно желѣзныхъ, опоръ для сводовъ, противъ сводчатыхъ покрытій сист. Монье и проч. существуютъ нѣкоторыя предубѣжденія, къ которымъ мы еще вернемся впослѣдствіи. Рѣшающимъ моментомъ здѣсь является наименьшая стоимость сооруженія.

Резервуары на фундаментахъ или нижнихъ строеніяхъ частью устраиваются изъ каменной кладки, а большей частью изъ желѣза или по системѣ Монье, и весьма рѣдко изъ дерева или другихъ строительныхъ матеріаловъ. Очевидно, что стоимость этихъ сооруженій будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше ихъ емкость. Вообще опытъ показываетъ, что чугунъ дольше и надежнѣе противостоитъ дѣйствію сырости, нежели желѣзо или сталь, вслѣдствіе чего примѣненіе чугуна для этой цѣли можетъ быть рекомендовано на первомъ планѣ. Въ дѣйствительности практика даетъ намъ много примѣровъ чугунныхъ резервуаровъ, изъ которыхъ здѣсь укажемъ на водоснабженіе въ Карлсруэ (въ Баваріи), а также на водоснабженіе Альтоны, Штеттина и Любека. Но конструкція сама по себѣ, а также и толщина стѣнокъ чугунныхъ резервуаровъ, не только обусловливаютъ собой значительную стоимость самихъ резервуаровъ, но вслѣдствіе значительнаго своего вѣса въ сравненіи съ желѣзными резервуарами

чугунные требуютъ также и болѣе прочныхъ фундаментовъ. Но такъ какъ надлежащей окраской и хорошимъ уходомъ можно на весьма долгое время предохранить желѣзные резервуары отъ ржавленія, при чемъ въ отношеніи качествъ воды не можетъ быть никакихъ сомнѣній, то въ послѣднее время желѣзные резервуары нашли себѣ весьма обширное примѣненіе и устраиваются даже весьма большой емкости (2000 до 3000 куб. метр.). Для небольшихъ, преимущественно прямоугольныхъ, резервуаровъ съ успѣхомъ могутъ быть примѣнены резервуары системы Монье, между тѣмъ какъ дерево можетъ быть допущено только для временныхъ сооруженій.

Нижнее основаніе обыкновенно дѣлается изъ каменной кладки, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ и изъ желѣза. Допускаемое давленіе на фундаментъ обусловливается свойствами подошвы; въ самой-же каменной кладкѣ допускаютъ давленіе въ 10, а въ исключительныхъ случаяхъ въ 15 килогр. на квадр. сантиметръ За эти предѣлы переходить не слѣдуетъ.

Особый видъ этихъ резервуаровъ составляютъ американскіе стояки, представляющіе собой частью цилиндрическіе и частью бутылеобразные желѣзные бассейны, доходящіе до земли и часто имѣющіе весьма значительную высоту и большую емкость.

Въ устанавливаемыхъ на фундаментахъ резервуарахъ также устраиваются впускъ, выпускъ, сливъ и шлюзовый спускъ для опоражниванія, а также и вентиляція каждаго отдѣленія. Впускъ и выпускъ соединяются въ одной трубѣ, если резервуаръ представляетъ собой не проходной резервуаръ (A на фиг. 309), а конечный (B, C, D на фиг. 309), т. е. въ этомъ случаѣ черезъ ту-же трубу вода поступаевъ въ резервуаръ и вытекаетъ изъ него. Сливъ препятствуетъ повышенію уровня воды выше опредѣленнаго предѣла, а шлюзовой спускъ служитъ для быстраго опоражниванія резервуара при его чисткѣ или исправленіи.

Вообще считаемъ еще нелишнимъ прибавить, что земляная насыпка надъ перекрытіемъ бака необходимо должна быть дренирована, такъ какъ въ насыпку просачиваются большія количества дождевыхъ водъ. Вентиляціонныя приспособленія должны быть устроены такъ, чтобы черезъ нихъ въ резервуаръ не могли бы проникать извнѣ никакія твердыя тѣла или жидкія нечистоты. Если при каменныхъ резервуарахъ подошва имѣетъ свойство размягчаться или вообще измѣняться отъ дѣйствія просачивающейся въ грунтъ воды, то подошва или дно резервуара должно быть тщательно дренировано и снабжена отводомъ воды (ср. ф. 344). Свободно стоящіе резервуары, въ которыхъ вершина замка свода нѣсколько выступаетъ изъ-за материка, по возможности должны быть снаружи обсыпаны землей; этимъ не только уменьшается вліяніе внѣшней температуры и увеличивается прочность резервуара, но также и сберегается стоимость устройства фасадовъ наружныхъ стѣнъ, которые по самому характеру постройки никогда не могутъ отличаться изяществомъ.

Выше (см. отд. II, гл. 4) мы замѣтили, что всякая каменная стѣна, смачиваемая со внутренней стороны водой или подверженная дѣйствію водяныхъ паровъ, легко портится въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ снаружи имѣются лицевыя поверхности. Вслѣдствіе этого въ подобныхъ случаяхъ, для избѣжанія очень частыхъ исправленій, лицевыя поверхности или фасады стѣнъ устраиваются изъ тесаныхъ камней, изъ хорошо обожженныхъ и притертыхъ твердыхъ кирпичей и проч., при чемъ они выходятъ очень дорогими. Во всякомъ случаѣ лицевымъ поверхностямъ или фасадамъ слѣдуетъ придавать характеръ прочности и солидности, а отнюдь не граціозности.

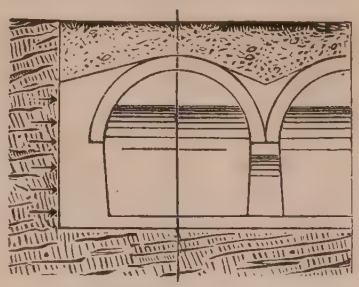
Такъ называемыя водонапорныя башни, т. е. основанія подъ желѣзными баками и окружающія послѣдніе стѣны часто устраиваются съ различными громадными большей частью некрасивыми архитектурными украшеніями; и въ этомъ случаѣ все, не безусловно требуемое назначеніемъ сооруженія, мы считаемъ по меньшей мѣрѣ излишнимъ.

Всякій резервуаръ долженъ быть сдѣланъ доступнымъ помощью входныхъ шахтъ или лѣстницъ; входамъ въ резервуаръ должна быть придана по возможности наиболѣе простая форма. Уровень воды въ резервуарѣ долженъ указываться помощью водоуказателя не только въ самомъ помѣщеніи резервуара, но также и въ конторѣ завѣдывающаго водопроводомъ или въ управленіи, преимущественно въ большихъ сооруженіяхъ; для этой цѣли служатъ особыя приспособленія.

Обыкновенно стараются сообщить всей массѣ содержащейся въ резервуарѣ воды по возможности равномѣрное движеніе, вызываемое въ ней притокомъ и расходомъ; эта цѣль достигается тѣмъ, что въ проходныхъ резервуарахъ впускъ и выпускъ располагаются противоположно другъ другу, а въ концевыхъ или обратныхъ резервуарахъ совмѣстный притокъ и выпускъ располагаютъ по срединѣ отдѣленій резервуара; это расположеніе вполнѣ цѣлесообразно, и вполнѣ устраняетъ надобность въ устройствѣ, показанномъ на фиг. 313.

Конструкція резервуаровъ и примѣры выполненныхъ сооруженій.

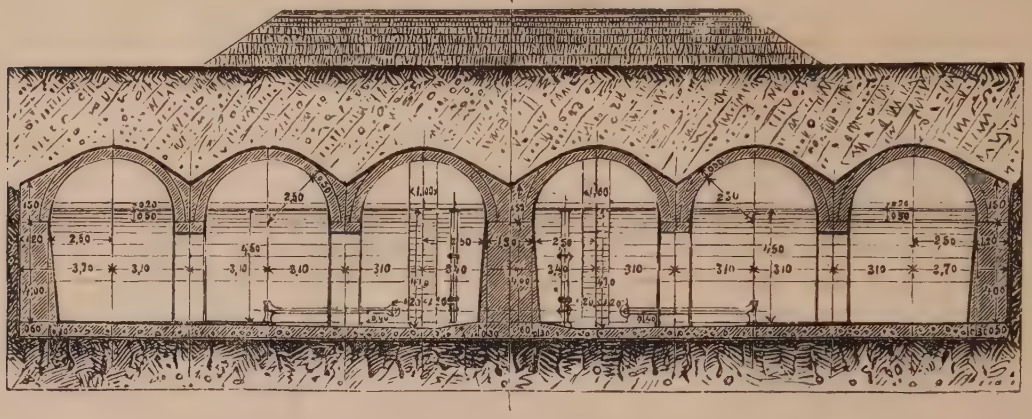
А. Резервуары, устроенные цѣликомъ въ землѣ. Для каналовъ, употребляемыхъ въ качествѣ резервуаровъ, и для устроенныхъ цѣликомъ въ землѣ резервуаровъ служатъ одни и тѣже правила конструкціи. Размѣры частей сооруженія весьма существенно обусловливаются свойствами почвы. Наименьшія затрудненія и наименьшая стоимость вызываются при постройкѣ въ томъ случаѣ, когда подошва сооруженія или почва состоитъ изъ плотныхъ и прочныхъ матеріаловъ (скалъ, туфа, конгломерата, плотной глины, мергеля и проч.), какъ показано на фиг. 314. Въ этихъ случаяхъ фундаментные рвы могутъ быть выкопаны съ вертикальными стѣнками, и въ нихъ непосредственно можетъ быть начата каменная кладка. Опоры непосредственно передаютъ всѣ горизонтальныя слагающія давленій естественной стѣнкѣ, которая при этомъ оказываетъ совершенно такую-же реакцію. Такимъ образомъ при вычисленіи толщины опоры принимаютъ въ разсчетъ только вертикальныя слагающія внѣшнихъ силъ, сумма которыхъ представляетъ собой давленіе на фундаментъ и равно вѣсу самой опоры плюсъ вѣсъ примыкающей къ ней половины свода со включеніемъ находящейся на ней земляной покрышки, а временами и слоя снѣга. Подобные резервуары находятся въ наиболѣе благопріятныхъ условіяхъ, и поэтому въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ допускается свободный выборъ мѣста постройки, слѣдуетъ выбрать то мѣсто, въ которомъ можно ожидать подобнаго прочнаго грунта.



Фиг. 314.

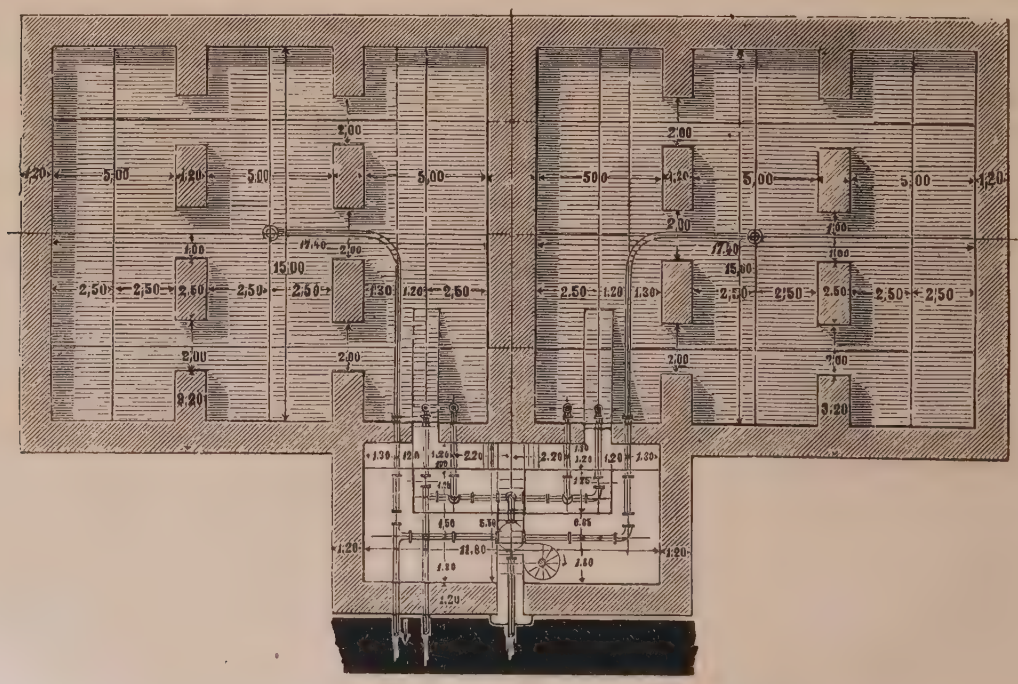
Резервуаръ въ Баденъ-Баденѣ, напримѣръ, устроенъ на слоѣ темнобурой глины, которая рубится киркой, но вмѣстѣ съ тѣмъ такъ компактна, что стѣнки фундаментнаго рва со-

храняютъ вертикальное положеніе. Поэтому устроенныя изъ бутовой кладки наружныя стѣны резервуара здѣсь примыкаютъ къ вертикально выломаннымъ стѣнкамъ ямы. Вслѣдствіе выраженнаго желанія на застроенной резервуаромъ площади современемъ устроить общественный бульваръ съ древесными насажденіями, своды были нагружены толстой земляной насыпкой, такъ что наружныя стѣны и промежуточныя опорныя стѣны для сводовъ подвержены весьма сильному давленію, обусловившему показанные на фигурахъ 315 и 316 крупные



Фиг. 315. Продольный разрѣзъ резервуара въ Баденъ-Баденѣ.

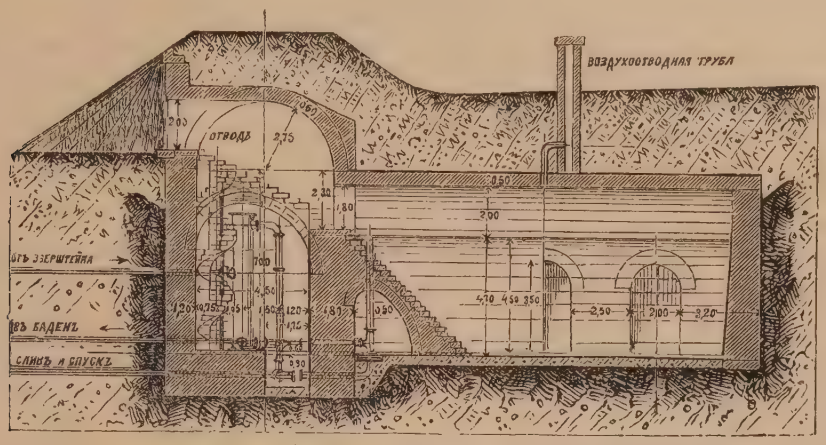
размѣры этихъ стѣнъ. Наружныя стѣны и опорные столбы были основаны на материкѣ. Остальная часть резервуара была выстлана слоемъ бетона средней толщины, около 45 сантиметровъ. Для достиженія водонепроницаемости резервуара, дно его, а также и наружныя



Фиг. 316.

стѣны до горизонтали, лежащей на 20 сантиметровъ надъ сливнымъ отверстіемъ, оштукатурены слоемъ цемента послѣ выборки швовъ кладки на глубину 9 сантиметровъ и тщательной очистки поверхности стѣнъ водой и щетками.

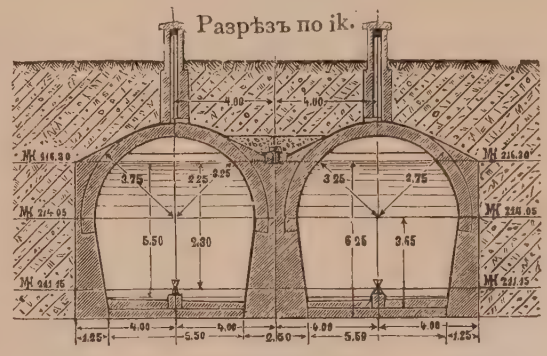
Резервуаръ представляетъ собой такъ называемый концевой резервуаръ; для впуска и выпуска воды имѣются два сообщающихся между собой провода, которые до поступленія въ резервуаръ подаютъ воду непосредственно въ сѣть; это устройство оказалось весьма удоб-



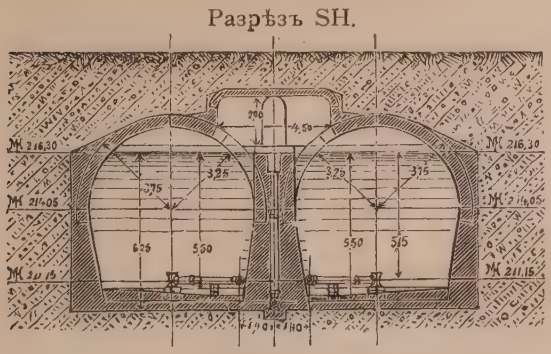
Фиг. 317. Поперечное сѣченіе высокаго резервуара въ Баденъ-Баденѣ.

нымъ (сооруженіе существуетъ съ 1878 года), давая равномѣрное давленіе и допуская замѣну одного провода другимъ въ случаѣ надобности (какъ, напримѣръ, при отводѣ домовыхъ вѣтвей, при исправленіяхъ и проч.).

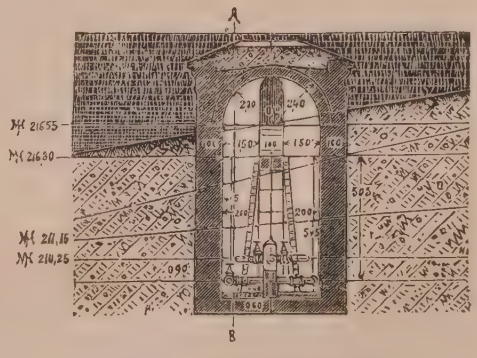
Для сохраненія нормальнаго давленія въ сѣти, а также и для сообщенія между обоими проводами при исправленіи раздѣлительной стѣны между обоими отдѣленіями резервуара, въ камерѣ для задвижекъ, какъ показано на фигурѣ 316, установленъ стоякъ, функція котораго ясна безъ всякихъ разъясненій; точно также изъ приложенныхъ чертежей понятно устройство слива, шлюзового спуска (для опоражниванія), впуска, выпуска, вентиляціи и проч. Въ каждое изъ отдѣленій бака ведетъ каменная лѣстница, между тѣмъ какъ въ передней камерѣ (для задвижекъ) ходъ къ приборамъ сдѣланъ по винтовой лѣстницѣ. Полезная высота воды въ резервуарѣ составляетъ приблизительно 4 метра, а высота уровня воды надъ дномъ резервуара



Фиг. 318.



Фиг. 319.

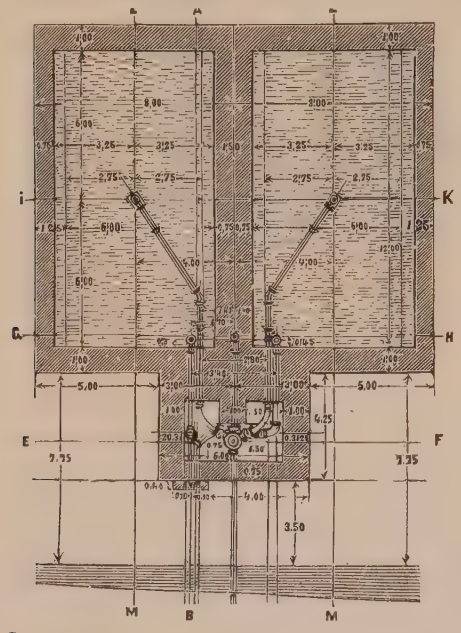


Фиг. 320. Задвижечная камера.

при совершенномъ его наполненіи сстоавляетъ 4,5 метра. Емкость резервуара составляетъ въ круглыхъ числахъ 2000 куб. метр., такъ что при 14000 жителей на каждаго приходится

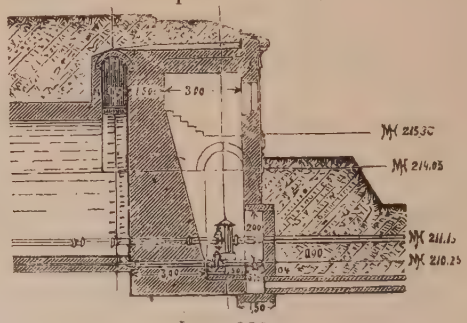
около 140 литровъ. Въ качествѣ строительнаго матеріала употреблялись порфирные камни и известковый растворъ. Впослѣдствіи надъ передней камерой была воздвигнута архитектурная надстройка, а надъ сводами резервуара посажены деревья. Очертаніе резервуара обусловлено имѣвшимся въ распоряженіи мѣстомъ для постройки.

Подобную, но нѣсколько болѣе простую конструкцію имѣетъ устроенный авторомъ въ Ларѣ напорный резервуаръ для водоснабженія города Гиссена; это сооруженіе тоже выполнено изъ бутовой кладки (кусковъ пестраго песчаника) на известковомъ растворѣ и показано на фигурахъ 318—322. Какъ и резервуаръ въ Баденѣ, этотъ резервуаръ образуетъ собой конечный пунктъ распредѣлительной сѣти. Яма для резервуара могла быть сплошь вырыта съ вертикальными стѣнками въ твердой и плотной глинѣ, и служить для непосредственнаго возведенія наружныхъ стѣнъ резервуара. Имѣвшееся въ распоряженіи мѣсто для постройки было весьма узко, чѣмъ вообще и объясняются выбранное очертаніе и конструкція резервуара. Полезная емкость резервуара составляетъ около 700 куб. метр., и весь резервуаръ раздѣленъ на два отдѣленія, каждое изъ которыхъ можетъ быть наполнено и опорожнено независимо отъ другого; для одновременнаго опоражниванія обоихъ отдѣленій въ передней камерѣ установлена раздѣлительная коробка. Уровень воды въ резервуарѣ достигаетъ высоты на 1 метръ ниже вершины или замка полуциркульнаго бочарнаго свода съ пролетомъ въ 6,5 метр. и располагается на 5,15 метровъ надъ осью и на 5 метр.



Фиг. 321. Планъ верхняго резервуара въ Ларѣ.

Разрѣзъ по AB.



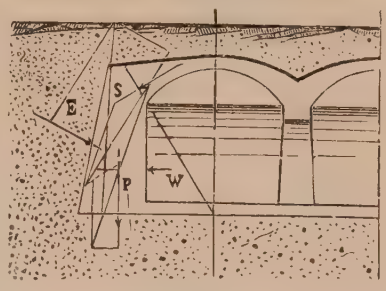
Фиг. 322.

надъ выпускомъ водопроводной трубы. Дно резервуара расположено на 0,6 метра ниже этого выпуска. Резервуаръ имѣетъ бетонированное дно, подъ которымъ расположенъ слой утрамбованнаго щебня, такъ какъ вслѣдствіе значительной высоты воды, обусловленной узкимъ мѣстомъ для постройки резервуара, оказалась необходимой большая прочность сооруженія. Доступъ въ резервуаръ происходитъ по желѣзнымъ стремянкамъ или скобамъ черезъ покрытый сводомъ проходъ изъ передней камеры, какъ показано на фигурахъ 321 и 322. Послѣдняя закрывается дверью, выходящею на прилегающую къ резервуару дорогу. Давленіе каменной кладки въ наружныхъ стѣнахъ на высотѣ пятъ свода составляетъ 3,8 килогр. на 1 кв. сантим., а на днѣ—3 килогр.; этой же величиной повсемѣстно здѣсь ограничено давленіе на фундаментъ, даже у подошвы уширенной внизу средней стѣны. Наибольшую толщину должна была получить наружная, свободно стоящая стѣна, отдѣляющая переднюю камеру отъ резервуара, какъ показано на разрѣзѣ *AB*. Водонепроницаемость здѣсь достигнута подобнымъ же путемъ, какъ и для резервуара въ Баденъ-Баденѣ, т. е. помощью слоя цементной штукатурки на внутренней поверхности стѣнъ. Всѣ остальныя детали устройства этого резервуара видны на указанныхъ чертежахъ.

Условія бываютъ еще болѣе благопріятны въ тѣхъ случаяхъ, когда резервуаръ можетъ быть цѣликомъ устроенъ въ скалѣ, въ видѣ туннельнаго резервуара или водянаго погреба, какъ это, напр. имѣетъ мѣсто въ Неаполѣ, гдѣ для достиженія полной водонепроницаемости стѣнъ оказалась вполнѣ достаточной обыкновенная облицовка туффовыхъ стѣнъ резервуара слоемъ цементной шту-

катурки толщ. 5 до 13 сантиметровъ. При плотной и вообще сухой породѣ подобный способъ можетъ быть примѣненъ постоянно. Въ сыпучихъ или подвижныхъ породахъ давленіе воды происходитъ въ весьма благопріятномъ направленіи относительно давленія почвы, и поэтому оказывается весьма цѣлесообразнымъ выбрать для резервуара профиль, подобную профили туннеля для одноколейнаго рельсоваго пути, съ обратнымъ или почвеннымъ сводомъ. Методы самого выполненія работъ и пр., совершенно одинаковые какъ и при устройствѣ туннелей, здѣсь не могутъ быть разсмотрѣны въ подробности, такъ какъ они не входятъ въ нашу программу и составляютъ отдѣльную отрасль строительнаго дѣла — построеніе туннелей. Само собой разумѣется, что примѣняемая при устройствѣ этихъ резервуаровъ каменная кладка должна быть водонепроницаема, хотя съ другой стороны будетъ совершенно излишнимъ строить эти стѣны изъ тесаныхъ камней.

При обыкновенномъ строительномъ грунтѣ, т. е. при болѣе рыхлой почвѣ, устройство отдѣльныхъ опоръ исключается. Если для резервуара выбрана форма наружныхъ стѣнъ, показанная на фиг. 323 или подобная приведеннымъ выше при описаніи резервуаровъ, устроенныхъ цѣликомъ въ почвѣ, то необходимо значительно усилить наружныя стѣны, преимущественно тѣ части ихъ, которыя при коробовой аркѣ принимаютъ на себя распоръ свода. Вычисленіе толщины стѣны производится такъ какъ показано на фиг. 323: распоръ свода, давленіе земли снаружи, давленіе воды изнутри и вѣсъ стѣны даютъ силы, приводимыя къ одной равнодѣйствующей. Если въ стѣнѣ не должно существовать растягивающихъ усилій, то эта равнодѣйствующая должна пройти въ предѣлахъ трети ширины подошвы, причемъ необходимо разсматривать условія при порожнемъ и при полномъ резервуарѣ. Наибольшее давленіе на подошву въ каждомъ данномъ случаѣ легко опредѣлить по величинѣ и направленію упомянутой равнодѣйствующей (какъ указано въ отд. II, гл. 2), или ширина подошвы должна соотвѣтствовать сопротивляемости грунта; точно также по приведенному выше (отд. II, гл. 2) графостатическому способу нетрудно опредѣлить величину и направленіе равнодѣйствующей, если извѣстенъ распоръ свода S и давленіе земли E. Опредѣленіе послѣднихъ силъ будетъ указано ниже; здѣсь считаемъ нелишнимъ предварительно замѣтить, что вмѣсто показаннаго на фиг. 323 вида опоръ въ послѣднее время большей частью примѣняется тотъ видъ, при которомъ сводъ простирается отъ верхушки резервуара до фундамента или дна резервуара. Мы подробнѣе разсмотримъ этотъ видъ опоръ; самособой разумѣется, что полученные результаты будутъ вполнѣ примѣнимы и въ томъ случаѣ, когда сводъ оканчивается не на днѣ, а на опорѣ.



Фиг. 323.

Вычисленіе величины и направленія давленія земли на сводъ резервуара. Если сводъ резервуара (бочарный сводъ), лежащій на наружной стѣнѣ AB, отъ глубины $= 1$ до какой-нибудь высоты h_0 надъ A (фиг. 324) покрытъ землей, и если кромѣ того онъ нагруженъ слоемъ снѣга толщ. s, если затѣмъ черезъ γ_1 обозначимъ вѣсъ куб. метра земли, черезъ γ_3 — вѣсъ куб. метра снѣга въ килогр., то, какъ показано на чертежѣ,

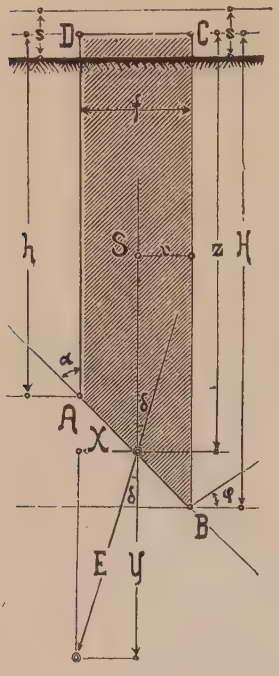
$$h = h_0 + \frac{\gamma_3}{\gamma_1} s; \qquad H = h_0 + \frac{\gamma_3}{\gamma_1} s + \frac{f}{tg\,\alpha},$$

гдѣ f означаетъ ширину сѣченія разсматриваемаго слоя, а α — уголъ наклона нагруженной поверхности стѣны къ вертикали.

Если затѣмъ φ означаетъ уголъ естественнаго откоса земли, употребленной для перекрытія, то получаются слѣдующія составляющія давленія земли на плоскости глубиной 1 и длиной AB:

$$1)\quad X = 0{,}5\,\gamma_1\left(H^2 - h^2\right) tg^2\left(45^0 - 0{,}5\,\varphi^0\right),$$

$$2)\quad Y = 0{,}5\,\gamma_1 f\left(H + h\right).$$



Фиг. 324.

Составляющая Y равна вѣсу слоя земли, расположеннаго вертикально надъ поверхностью стѣны $AB.1$, и слоя земли, соотвѣтствующаго нагрузкѣ снѣга. Эта составляющая имѣетъ вертикальное направленіе книзу и проходитъ черезъ центръ тяжести S слоя $ABCD$. Вертикальное разстояніе v этого центра тяжести отъ вертикали BC составляетъ, какъ извѣстно

$$3)\quad v = \frac{f}{3}\cdot\frac{H + 2h}{H + h}.$$

Этимъ вполнѣ опредѣляется составляющая Y, какъ по величинѣ, такъ и по направленію.

Горизонтальная составляющая X давленія земли приложена на глубинѣ

$$4)\quad z = \frac{2}{3}\cdot\frac{H^3 - h^3}{H^2 - h^2}$$

подъ горизонталями, опредѣляющими высоты H и h. Такимъ образомъ и эта составляющая опредѣлена, какъ по величинѣ, такъ и по направленію.

Помощью этихъ уравненій можно опредѣлить давленіе земли, какъ по величинѣ, такъ и по направленію; называя его черезъ E, мы видимъ

$$5)\quad E = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

а наклонъ δ этого давленія къ вертикали опредѣляется изъ уравненія:

$$tg\,\delta = \frac{X}{Y} = \frac{H - h}{f}\,tg^2\left(45^0 - 0{,}5\ \varphi^0\right);$$

но такъ какъ $\frac{H-h}{f} = Cotg\,\alpha = \frac{1}{tg\,\alpha}$, то отсюда слѣдуетъ

$$6)\quad tg\,\delta\,.\,tg\,\alpha = tg^2\left(45^0 - 0{,}5\ \varphi^0\right).$$

Если почва разжижжена, т. е. если $\varphi = 0^0$, то правая часть послѣдняго уравненія $= 1$ и въ этомъ случаѣ слѣд. равнодѣйствующее давленіе (какъ извѣстно изъ гидростатики) направлено перпендикулярно къ плоскости, на которую это давленіе производится.

Если примемъ для примѣра:

$h_0 = 3$ метр.; $s = 0{,}4$ метр.; $\gamma_1 = 1500$; $\gamma_3 = 750$; $f = 1$; $\alpha = 45^0$; $\varphi = 33^0\ 42'$,

то получимъ:

$$tg\,\alpha = 1\,;\ h = 3 + \frac{750}{1500}\,.\,0{,}4 = 3{,}2;\quad H = 3{,}2 + 1 = 4{,}2;$$

$$tg\left(45^0 - 0{,}5\,.\,33^0\ 42'\right) = tg\ 28^0\ 09' = 0{,}53507;\quad tg^2\,28^0\ 09' = 0{,}28630;$$

и по ур. 6) получаемъ:

$$tg\,\delta = 0{,}28630,\ \text{откуда}\ \delta = 15^0\ 59'.$$

Затѣмъ по ур. 1) горизонтальная составляющая X давленія земли будетъ:

$$X = 0{,}5\,.\,1500\left(4{,}2^2 - 3{,}2^2\right).\ 0{,}28630 = 1589\ \text{килогр.},$$

а точка приложенія этой составляющей X по ур. 4) расположена на глубинѣ подъ CD:

$$z = \frac{2}{3}\cdot\frac{4{,}2^3 - 3{,}2^3}{4{,}2^2 - 3{,}2^2} = 3{,}72\ \text{метр.}$$

Вертикальная составляющая Y по ур. 2) составляетъ:

$$Y = 0{,}5 \cdot 1500 \left(3{,}2 + 4{,}2\right) = 5550 \text{ килогр.}$$

Разстояніе v центра тяжести S по ур. 3) будетъ

$$v = \frac{1}{3} \cdot \frac{4{,}2 + 2 \cdot 3{,}2}{4{,}2 + 3{,}2} = 0{,}4775 \text{ метр.}$$

Наконецъ, по ур. 5) давленіе земли E составитъ

$$E = \sqrt{1589^2 + 5550^2} = 5771 \text{ килогр.}$$

Для удобства вычисленій на слѣдующей таблицѣ приведены соотвѣтствующія значенія наиболѣе часто встрѣчаемыхъ относительныхъ откосовъ, угловъ φ, $45^0 - \frac{\varphi}{2}$ и т. д.

Относительный откосъ.	Уголъ откоса φ	$\frac{\varphi}{2}$	$45^0 - \frac{\varphi}{2}$	$\operatorname{tg}\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right)$	$\operatorname{tg}^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right)$
1 : 0,5	63° 26′	31° 43′	13° 17′	0,23608	0,05573
1 : 1,0	45° 0′	22° 30′	22° 30′	0,41421	0,17157
1 : 1,5	33° 42′	16° 50′	28° 9′	0,53507	0,28630
1 : 2	26° 34′	13° 17′	31° 43′	0,61801	0,38194
1 : 2,5	21° 48′	10° 54′	34° 6′	0,67705	0,45840
1 : 3,0	18° 26′	9° 13′	35° 47′	0,72078	0,51952
1 : ∞ (жидк.)	0° 0′	0° 0′	45° 0′	1,00000	1,00000

Вѣсъ γ_1 одного кубич. метра земли въ сухомъ ея состояніи составляетъ:

Глинистой почвы	1700 до 1900 килогр.
Крупнаго голыша и щебня	1600 — 1800 „
Гравія и песку	1500 — 1700 „
Песчанистой, слабой почвы	1400 — 1600 „
Лёсу и мергельной почвы	1400 — 1500 „

Въ влажномъ состояніи поры почвы, составляющія 25 до 40% ея объема, заполнены водой; поэтому, если промачиваніе покрывающей резервуаръ земли не устранено дренажемъ или водоотводомъ, то при опредѣленіи вѣса земли къ приведеннымъ цифрамъ необходимо прибавить отъ 250 до 400 килогр. на 1 куб. метръ.

Давленіе каменной кладки на сводъ резервуара. Если давленіе на сводъ производится одной только каменной кладкой, для которой уголъ $\varphi = 90^0$, то по приведеннымъ формуламъ находимъ:

$$X = 0;\ Y = 0{,}5\,\gamma_1 f \left(H + h\right);\ v = \frac{f}{3} \cdot \frac{H + 2h}{H + h};\ z = \frac{2}{3} \cdot \frac{H^3 - h^3}{H^2 - h^2};\ E = Y;\ \delta = 0.$$

Отсюда видно, что равнодѣйствующее давленіе постоянно направлено вертикально; величина его равна вѣсу кладки, налегающей надъ сводомъ, и оно проходитъ черезъ центръ тяжести трапеціи $A\,B\,C\,D$ (фиг. 324).

Приблизительный способъ построенія свода для резервуара. При нижеприведенномъ графостатическомъ рѣшеніи задачи для перваго опредѣленія сѣченія свода можетъ служить слѣдующій способъ: обозначимъ (въ метрахъ) черезъ:

l — наибольшій пролетъ свода резервуара;
b — относящуюся къ этому пролету высоту стрѣлы свода;
h_0 — высоту выравненной горизонтальной плоскости земляной насыпи надъ замкомъ или вершиной свода;
γ_1 — вѣсъ 1 куб. метра земли;
γ_2 — вѣсъ 1 куб. метра каменной кладки.

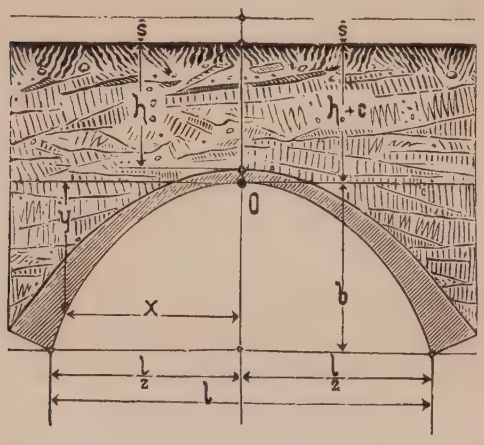
Если затѣмъ черезъ c обозначимъ неизвѣстную пока толщину свода въ замкѣ, то высота каменной кладки, соотвѣтствующая давленію земли и кладки на замокъ свода и выраженная въ метрахъ, будетъ $= \frac{\gamma_1}{\gamma_2} h_0 + c$.

Если необходимо еще принять въ разсчетъ нагрузку отъ слоя снѣга толщ. s метр., вѣсъ 1 кубич. метра котораго составляетъ γ_3 килогр., то эквивалентная ей величина земляной нагрузки (т. е. соотвѣтствующая высота земляной насыпи) $= \frac{\gamma_3}{\gamma_1} s$. Въ этомъ случаѣ общая нагрузка земли и снѣга будетъ эквивалентна высотѣ земляной насыпи $h = h_0 + \frac{\gamma_3}{\gamma_1} s$, и соотвѣтствующая высота a каменной кладки будетъ:

$$7) \quad a = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot h + c = nh + c,$$

гдѣ $n = \gamma_1 : \gamma_2$.

Если затѣмъ черезъ R обозначимъ радіусъ внутренняго очертанія свода въ замкѣ (въ метрахъ), то должно быть:



Фиг. 325.

$$8) \quad R = \frac{l^2}{8a}\left(\frac{1}{8} + \frac{a}{b} + \frac{c}{R+c}\right).$$

Очертаніе свода (внутреннее), отнесенное къ прямоугольной системѣ координатъ, начало которой расположено въ вершинѣ O, и въ которой за ось x-овъ принята горизонтальная линія, проходящая черезъ вершину свода, выразится уравненіемъ: [1])

$$9) \quad y = \frac{4\,b\,m\,x^2}{l^2\,(b+m) - 4\,b\,x^2},$$

гдѣ

$$m = \frac{8\,a\,(R+c)}{R+2\,c}.$$

Наконецъ, горизонтальное давленіе или распоръ въ замковомъ швѣ, выраженный въ килограммахъ, будетъ:

$$10) \quad H = \left(R + c\right) a\,\gamma_2.$$

Если въ замкѣ свода допускается давленіе p килогр. на 1 кв. сантим., и если разсмотримъ слой свода глубиной $= 1$, то, при точкѣ приложенія горизонтальнаго распора въ срединѣ замковаго шва, получимъ

$$10000\,p\,c = H = \left(R + c\right)\left(n\,h + c\right)\gamma_2.$$

Такимъ образомъ, рѣшая это уравненіе относительно c, получаемъ соотвѣтствующую этому допускаемому давленію толщину свода въ замкѣ:

$$11) \quad c = M - \sqrt{M^2 - R\,n\,h},$$

гдѣ

$$M = \frac{1}{2}\left(\frac{10000\,p}{\gamma_2} - R - n\,h\right).$$

[1]) Hannov. Bauz. 1878, стр. 451.

Принимая радіусъ кривизны свода въ замкѣ равнымъ радіусу кривизны эллипса съ полуосями $\frac{l}{2}$ и b, т. е. принимая

$$12)\quad R_1 = \frac{l^2}{4\,b},$$

получаемъ изъ ур. 11) первую, весьма близкую къ дѣйствительной, величину c. По этому значенію c помощью ур. 8) получается болѣе точная величина R, по которой изъ ур. 11) получается вторая приближенная величина c. Повторяя эту подстановку, можно опредѣлить c съ желаемой степенью точности.

Опредѣливши толщину свода въ замкѣ c и внутреннее очертаніе свода, можно опредѣлить точки, лежащія на наружной линіи свода; при этомъ пересѣченіе горизонтали, проведенной на высотѣ c отъ какой-либо точки внутренняго очертанія свода, съ нормалью къ этой кривой въ соотвѣтствующей точкѣ, даетъ точку, лежащую на наружной линіи свода; опредѣливши рядъ такихъ точекъ, нетрудно по нимъ вычертить наружную линію свода (ср. фиг. 326).

Примѣръ. Надъ резервуаромъ устраивается сводъ, котораго ширина у дна резервуара составляетъ 10 метр., а высота отъ вершины до фундамента составляетъ 4,50 метр. Требуется опредѣлить внутреннее очертаніе свода, допуская давленіе въ замкѣ 5 килогр. на 1 квадр. сантим. и принимая толщину слоя земляной насыпи 2,5 метр., толщину слоя снѣга въ 0,5 метр., вѣсъ 1 куб. метра земли 1500 килогр., вѣсъ 1 кубич. метра снѣга 750 килогр., а вѣсъ 1 куб. метра каменной кладки 2300 килогр.

Сперва находимъ $h = 2{,}5 + \frac{750}{1500}\,.\,0{,}5 = 2{,}75$ метр. Отсюда изъ уравнен. 7) при $n = \frac{1500}{2300} = 0{,}65$ находимъ

$$n\,h = 1{,}79;\ a = 1{,}79 + c;\ R_1 = \frac{100}{4\,.\,4{,}5} = 5{,}56 \text{ метр.}$$

Это и есть первое приближенное значеніе. По этому значенію получаемъ:

$$M = \frac{1}{2}\left(\frac{10000\,.\,5}{2300} - 5{,}56 - 1{,}79\right) = 7{,}20;\ c = 7{,}20 - \sqrt{7{,}20^2 - 5{,}56\,.\,1{,}79} = 0{,}73;$$

$$a = 1{,}79 + 0{,}73 = 2{,}52.$$

Подставивъ эти величины въ ур. 8), можно опредѣлить правильное значеніе R; тогда получаемъ

$$\frac{8\,.\,2{,}52}{100}R = 0{,}125 + \frac{2{,}52}{4{,}5} + \frac{0{,}73}{R + 0{,}73},\ \text{откуда}\ R = 4{,}14.$$

Затѣмъ по этому значенію R получаемъ снова:

$$M = \frac{1}{2}\left(\frac{10000\,.\,5}{2300} - 4{,}14 - 1{,}79\right) = 7{,}91;\ c = 7{,}91 - \sqrt{7{,}91^2 - 4{,}14\,.\,1{,}79} = 0{,}48$$

$$a = 1{,}79 + 0{,}48 = 2{,}27.$$

Вторичная подстановка значеній c и a въ ур. 8) даетъ намъ:

$$\frac{8\,.\,2{,}27}{100}R = 0{,}125 + \frac{2{,}27}{4{,}5} + \frac{0{,}48}{R + 0{,}48},\ \text{откуда}\ R = 4{,}04.$$

Слѣдующее приближеніе даетъ:

$$M = \frac{1}{2}\left(\frac{10000\,.\,5}{2} - 4{,}04 - 1{,}79\right) = 7{,}96;\ c = 7{,}96 - \sqrt{7{,}96^2 - 4{,}04\,.\,1{,}79} = 0{,}47$$

$$a = 1{,}79 + 0{,}47 = 2{,}26.$$

Затѣмъ опять получаемъ

$$\frac{8\,.\,2{,}26}{100}R = 0{,}125 + \frac{2{,}26}{4{,}5} + \frac{0{,}47}{R + 0{,}47},\ \text{откуда}\ R = 4{,}04.$$

Очевидно, что это значеніе довольно точно.

При немъ будетъ:

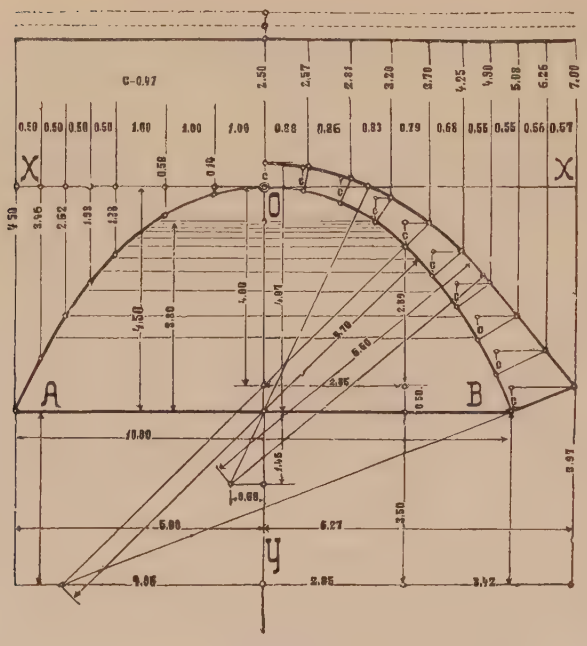
$$m = \frac{8\,.\,2{,}26\ (4{,}04 + 0{,}47)}{4{,}04 + 2\,.\,0{,}47} = 16{,}37,$$

и по ур. 9) находимъ

$$y = \frac{294{,}66\ x^2}{2087 - 18\ x^2}.$$

По послѣднему уравненію получаются слѣдующія соотвѣтствующія значенія x и y:

$x=0$ $x=1{,}0$ $x=2{,}0$ $x=3{,}0$ $x=3{,}5$ $x=4{,}0$ $x=4{,}5$ $x=5{,}0$
$y=0$ $y=0{,}14$ $y=0{,}58$ $y=1{,}38$ $y=1{,}93$ $y=2{,}62$ $y=3{,}46$ $y=4{,}5$.



Фиг. 326.

Помощью этихъ значеній и согласно приведеннаго правила для вычерчиванія наружной линіи свода получаемъ показанное на фиг. 326 поперечное сѣченіе и очертаніе свода, весьма близко подходящія подъ упомянутыя въ заданіи условія.

Графостатическая провѣрка принятаго сѣченія свода. Сперва опредѣляютъ вспомогательныя величины для этой провѣрки, а именно: величины составляющихъ давленія земли по ур. 1) и 2) для $\varphi = 33^0\ 42'$ и $\gamma_1 = 1500$:

$$X = 214{,}72\left(H^2 - h^2\right);$$

$$Y = 750\, f\left(H + h\right);$$

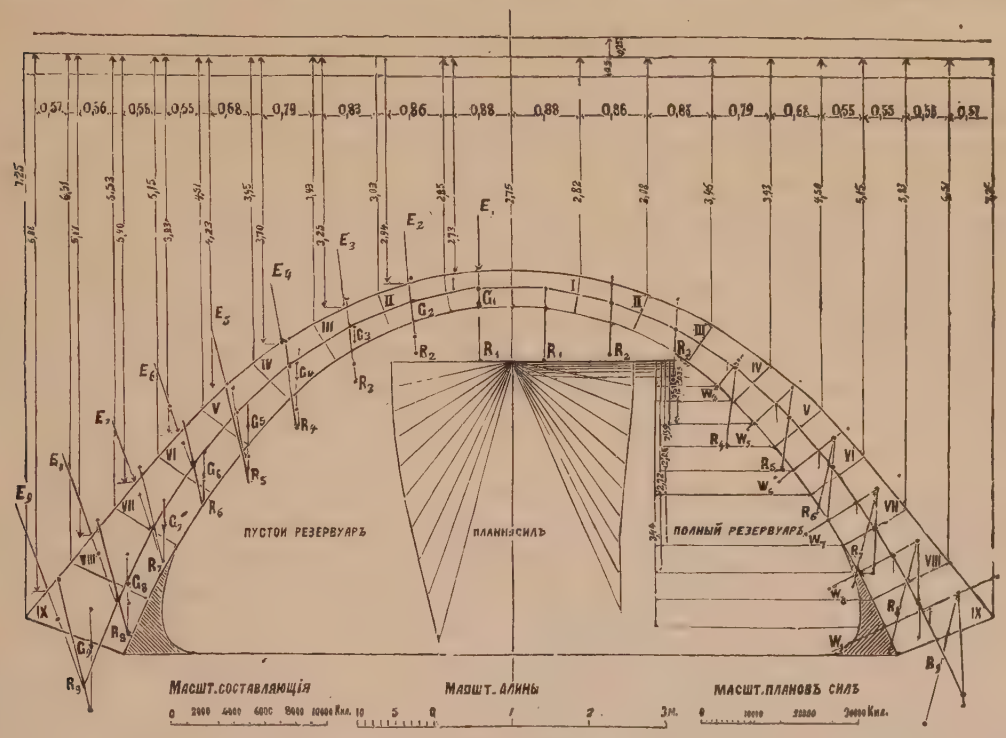
затѣмъ опредѣляютъ точку приложенія давленія земли по ур. 3) и 4) и наконецъ —давленіе воды и точку его приложенія подъ уровнемъ, какъ показано будетъ ниже (см. отд. IV, гл. 6); вѣса частей свода и ихъ центры тяжести опредѣляются графически.

Согласно фиг. 326 получается слѣдующая таблица.

№ участка свода.	Вѣсъ G участка свода въ килогр.	Составляющія давленія земли въ килограммахъ.		Ордината z давленія земли [1]) въ метрахъ	Давленіе воды въ килогр.	Точка приложенія давленія воды подъ уровнемъ въ метрахъ
		X	Y			
I	1100	83	3675	2,79	0	—
II	1120	302	3790	2,94	0	—
III	1150	543	4060	3,26	0	—
IV	1330	791	4375	3,70	200	0,33
V	1470	995	4320	4,23	624	0,81
VI	1580	1340	3970	4,83	1104	1,39
VII	1760	1600	4525	5,49	1632	2,06
VIII	2025	1800	5200	6,17	2176	2,73
IX	2470	2175	5890	6,88	2736	3,44

[1]) Величина v легко опредѣляется построеніемъ.

По этимъ даннымъ легко построить дѣйствующія силы. Сперва построеніемъ получаютъ величины G_1, G_2 и проч., какъ вертикальныя силы, а затѣмъ по величинамъ X, Y и Z или v получаютъ давленія земли E_1, E_2 и проч.; сложеніе этихъ силъ даетъ частныя равнодѣйствующія R_1, R_2 и проч. приложенныхъ силъ для порожняго резервуара, какъ показано на фигурѣ 327 слѣва. Изъ многоугольника (или плана) силъ влѣво отъ оси симметріи полу-



Фиг. 327.

чается, исходя изъ лѣвой средины, линія давленія, если горизонтальный распоръ въ замкѣ по уравненію 10) составляетъ:

$$H = (4{,}04 + 0{,}47)\ 2{,}26\ .\ 2300 = 23443 \text{ килограммовъ};$$

точно также изъ этого многоугольника силъ опредѣляются главныя равнодѣйствующія по ихъ величинѣ.

Для опредѣленія линіи давленій при наполненномъ резервуарѣ переносимъ частныя равнодѣйствующія R_1, R_2 и проч. на правую сторону чертежа и, сложивъ ихъ съ давленіями воды, строимъ многоугольникъ (или планъ) силъ, расположенный вправо отъ линіи симметріи. Такимъ путемъ и здѣсь получаются главныя равнодѣйствующія по величинѣ и направленію.

Изъ чертежа видно, что линія давленій при порожнемъ резервуарѣ въ нижней части располагается ближе ко внутренней линіи свода; но въ этомъ мѣстѣ уголъ обыкновенно закругляется. Если это закругленіе произведено такъ, какъ показано на чертежѣ, то при наполненномъ резервуарѣ линія давленій располагается приблизительно по срединѣ сѣченія свода, слѣдовательно при этомъ получается равномѣрное давленіе, къ которому необходимо постоянно стремиться; при порожнемъ резервуарѣ она располагается дальше трети ширины шва. Чѣмъ отложе сводъ и чѣмъ меньше земляная покрышка надъ нимъ, тѣмъ правильнѣе окажется приведенный нами приблизительный методъ.

Слѣдуетъ здѣсь замѣтить, что приведенное здѣсь графостатическое изслѣдованіе можетъ быть съ успѣхомъ примѣнено въ каждомъ данномъ случаѣ при всякомъ очертаніи свода или при всякомъ его поперечномъ сѣченіи (а также и при измѣняющемся горизонтальномъ распорѣ). Главнымъ образомъ путемъ тщательнаго исправленія сѣченія свода послѣ перваго построенія можно принять въ разсчетъ всякія теоретическія требованія.

Въ подробности изслѣдованій крестовыхъ, парусныхъ, купольныхъ и другихъ сводовъ и происходящихъ въ нихъ распоровъ S (фигура 323), а также и въ устройство нашедшихъ себѣ обширное примѣненіе въ послѣднее время сводчатыхъ покрытій между желѣзными балками, мы здѣсь входить не можемъ и отсылаемъ интересующихся къ спеціальнымъ сочиненіямъ по этому предмету.

По приведеннымъ здѣсь методамъ вычисленія нетрудно опредѣлить распоръ свода, по которому опредѣляется размѣръ опоры свода, какъ показано на ф. 323. Если строительный матеріалъ наружныхъ стѣнъ можетъ быть подверженъ растягивающимъ усиліямъ, то толщина ихъ можетъ быть значительно уменьшена. Что касается натяженія матеріала вообще, то при примѣненіи бутовой кладки вообще не слѣдуетъ допускать растягивающія усилія, а сжимающія усилія не должны превышать 10 килогр. на 1 кв. сантим.; кирпичная кладка, въ зависимости отъ матеріала и раствора, можетъ быть подвержена растягивающмъ усиліямъ до 3 килогр. на 1 кв. сантим., которыя обыкновенно проявляются въ наружныхъ боковыхъ стѣнахъ и перегородкахъ резервуаровъ, когда первыя расположены со стороны наполненнаго резервуара, а вторыя отдѣляютъ порожнія отдѣленія отъ наполненныхъ. Сжимающему усилію обыкновенный бетонъ безопасно можетъ быть подвергнутъ въ 25 килогр., а при системѣ Монье въ 30 килогр. на 1 кв. сантим. Впрочемъ подобныя давленія можно допускать при весьма большихъ сооруженіяхъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда можно абсолютно быть увѣреннымъ въ невозможности какого-либо движенія подошвы (какъ напр. при скалистыхъ грунтахъ и проч.). При обыкновенныхъ-же грунтахъ, въ которыхъ можно предполагать небольшія перемѣщенія, а также и въ случаѣ небольшихъ резервуаровъ, гдѣ стоимость бетонной массы не имѣетъ рѣшающаго значенія, можно совѣтовать не перейти за предѣлы давленія въ 10 до 15 килогр. на кв. сантим.

Во многихъ случаяхъ, для сбереженія въ стоимости устройства, при каменныхъ опорахъ вмѣсто щебенной насыпки укладываютъ каменные штабеля или сухую каменную кладку, занимающую пространство между естественнымъ откосомъ земли и опорой; подобный способъ съ выгодой можетъ быть примѣненъ тамъ, гдѣ камень добывается вблизи и пріобрѣтается за недорогую цѣну. Эта сухая каменная кладка въ отношеніи противодѣйствія горизонтальнымъ усиліямъ играетъ ту-же роль, что и почва съ отвѣсными стѣнками выемки.

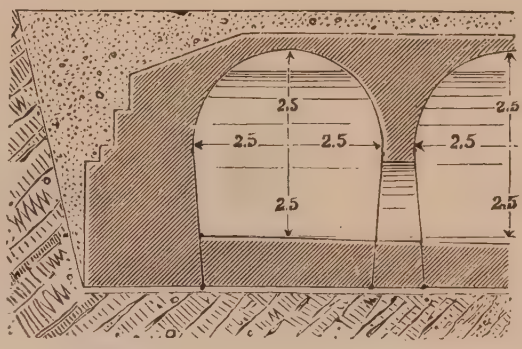
Подобный-же результатъ, преимущественно при хрящевато-глинистой почвѣ, иногда достигается тщательной обсыпкой и утрамбовкой сзади опоры, которая на долгое время оставляется въ покоѣ до начала дѣйствія распора свода и давленія воды. При утрамбовкѣ весьма полезно поливать обсыпку известковымъ молокомъ. Такимъ путемъ во многихъ случаяхъ удавалось удержать слабыя опоры, которыя по теоретическомъ изслѣдованіи при нормальныхъ условіяхъ оказались подверженными довольно значительнымъ растягивающимъ усиліямъ. Тѣмъ не менѣе этотъ способъ вообще можетъ быть примѣненъ только въ видѣ опыта, такъ какъ невозможно быть увѣреннымъ въ удачномъ результатѣ его примѣненія.

Вообще при устройствѣ резервуаровъ съ каменной насыпкой необходимо принять всѣ мѣры предосторожности, и еще тѣмъ болѣе, что вѣсъ насыпаемой земли измѣняется въ зависимости отъ степени ея сухости или промачиванія, что при неодинаковой инфильтраціи могутъ произойти одностороннія нагрузки и, наконецъ вслѣдствіе того, что всѣ наши теоретическія соображенія относительно давленія земли, распредѣленія давленій въ сѣченіяхъ свода и проч. основаны на такихъ предположеніяхъ, которыя могутъ имѣть мѣсто не во всѣхъ случаяхъ,

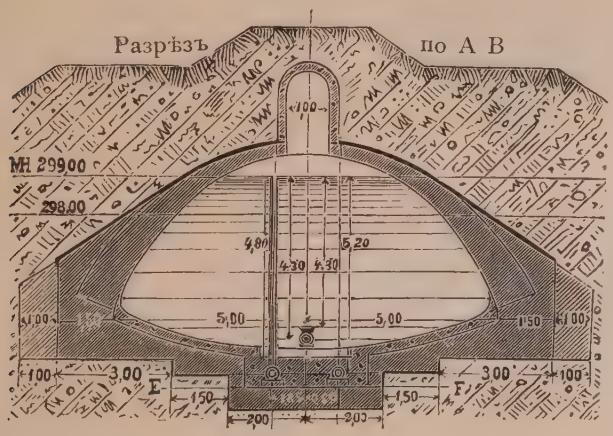
преимущественно не для свѣжей кладки (ср. отд. II, гл. 2). Разрушеніе большихъ резервуаровъ всегда сопряжено съ весьма печальными послѣдствіями, и поэтому отвѣтственность за прочность подобныхъ сооруженій весьма велика; но этимъ мы вовсе не рекомендуемъ безполезной траты строительныхъ матеріаловъ при возведеніи подобныхъ сооруженій, а указываемъ только на необходимость тщательнаго взвѣшиванія всѣхъ обстоятельствъ при опредѣленіи наименьшей стоимости сооруженія.

Во многихъ случаяхъ резервуары расположены на склонахъ горъ такимъ образомъ, что 3 стѣны прямоугольнаго сѣченія резервуара прилегаютъ къ материку, а четвертая только должна быть впослѣдствіи обсыпана. Въ этомъ случаѣ можно рекомендовать расположить съ этой стороны лицевую (фронтовую) сторону свода, такъ какъ здѣсь распоръ свода исчезаетъ, и горизонтальной силой является только давленіе воды. Вообще всѣ резервуары, устраиваемые въ рыхлой почвѣ, преимущественно изготовленные изъ бутовой кладки на известковомъ растворѣ, должны быть оставлены въ покоѣ на 6—8 недѣль до оштукатурки ихъ цементнымъ растворомъ и начала дѣйствія въ нихъ напора воды; главнымъ образомъ это должно быть соблюдено въ тѣхъ случаяхъ, когда размѣры резервуаровъ разсчитаны довольно скудно.

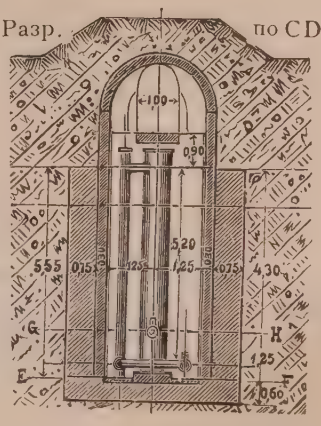
Извѣстный примѣръ солидно выполненнаго изъ бутовой кладки резервуара представляетъ собой описанный Дарси „Reservoire de la porte Guillaume“ въ Дижонѣ и изображенный въ продольномъ разрѣзѣ на фигурѣ 328. Толщина опоръ здѣсь весьма значительна, вслѣдствіе чего и стоимость устройства была весьма велика. Впрочемъ, цѣлесообразнымъ выборомъ поперечнаго сѣченія стѣны можно достигнуть необходимой статической прочности даже при небольшомъ объемѣ стѣнъ. Для достиженія этой цѣли въ послѣднее время наиболѣе примѣняется способъ, по которому всей каменной кладкѣ опоръ придается видъ арокъ.



Фиг. 328. Резервуаръ въ Дижонѣ.



Фиг. 329.

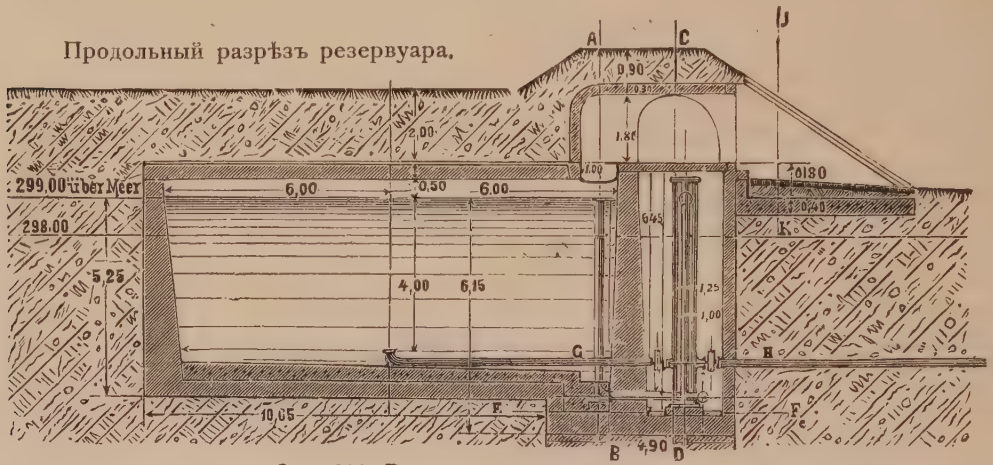


Фиг. 330.

Примѣромъ проектированнаго авторомъ подобнаго рода резервуара объ одну камеру изъ бутовой кладки можетъ служить изображенный на фигурахъ 329—333 резервуаръ въ

Мюльгеймѣ. Онъ расположенъ въ концѣ распредѣлительной водопроводной сѣти, при чемъ впускъ и выпускъ производятся по одной трубѣ. Въ передней пристройкѣ резервуара расположенъ стоякъ, регулирующій давленіе въ сѣти при случайномъ опорожненіи резервуара; этимъ устраняется весьма дорогое для подобныхъ небольшихъ сооруженій устройство двухкамернаго резервуара, а при рѣдкой чисткѣ резервуара не происходитъ никакихъ перерыв-

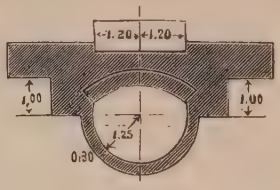
Продольный разрѣзъ резервуара.



Фиг. 331. Резервуаръ въ Мюлвлеймѣ

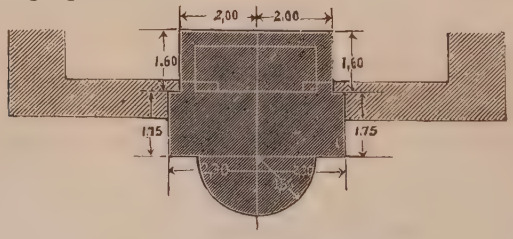
Разрѣзъ по LK.

Горизонтальный разрѣзъ по G H.



Планъ фундамента входа.

Гориз. разрѣзъ по EF.



Фиг. 332.

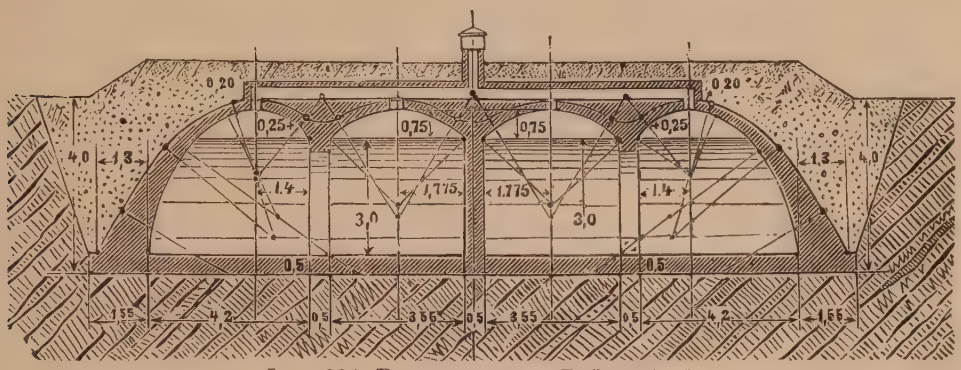
Наружный видъ входа.

Фиг. 333.

вовъ водоснабженія, такъ какъ она можетъ быть произведена во время наименьшаго потребленія воды. Устройство ясно видно изъ прилагаемыхъ чертежей и не требуетъ дальнѣйшаго поясненія. Весьма просто устроенный входъ вмѣстѣ съ тѣмъ заключаетъ въ себѣ и вентиляціонное приспособленіе, при чемъ верхняя полукруглая часть устроена въ видѣ рѣшетки. Проникнуть въ камеру для задвижекъ можно съ моста между входной дверью и резервуаромъ

по желѣзнымъ скобамъ (стремянкамъ); тѣмъ же способомъ опускаются въ водяную камеру резервуара. Задняя лицевая стѣна резервуара могла быть выложена со стороны плотной почвы, а потому ей приданы меньшіе размѣры, какъ видно изъ чертежей.

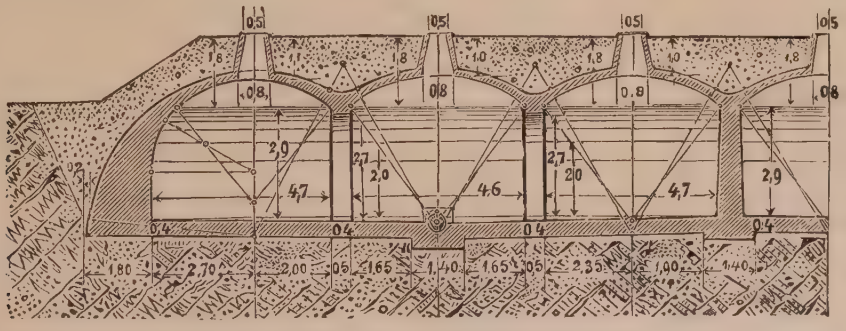
Гораздо легче и изящнѣе подобные резервуары выполняются изъ бетона. На фигурѣ 334 показано поперечное сѣченіе подобнаго резервуара, устроеннаго въ 1888 году въ Рейхен-



Фиг. 334. Резервуаръ въ Рейхенбахѣ

бахѣ и оказавшагося вполнѣ удовлетворительнымъ. Въ этомъ резервуарѣ особенно замѣчательна незначительная толщина перегородки между обоими отдѣленіями, и соотвѣтственно небольшія проявляющіяся растягивающія усилія, которымъ подвергается бетонъ при опоражниваніи одного отдѣленія резервуара.

Если наружныя стѣны резервуара на нѣкоторомъ разстояніи отъ дна съ внутренней стороны должны быть направлены вертикально, то онѣ получаютъ другое, сравнительно большее, поперечное сѣченіе, какъ это видно изъ сравненія фигуры 334 съ показаннымъ на фигурѣ 335 разрѣзомъ резервуара въ Килѣ, служащаго тамъ для отдѣленія изъ воды содержащагося въ ней желѣза.



Фиг. 335. Резервуаръ въ Килѣ.

Для устройства бетонныхъ резервуаровъ употребляютъ слѣдующія соотношенія составныхъ частей бетона (по объему):

a) для фундаментовъ, опоръ и подошвъ (половъ) резервуаровъ: 1 ч. портландск. цемента, 6 до 8 частей крупнаго песку (гравія) и 5—6 частей хряща или отъ 7—8 частей твердаго щебня;

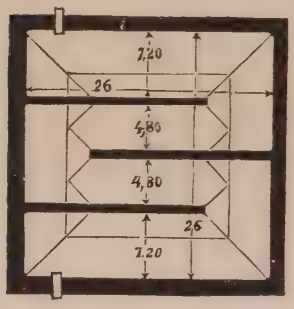
b) для стѣнъ, столбовъ, сводовъ и др. частей: 1 ч. портландскаго цемента, 5—6 ч. крупнаго песку и 5—6 частей хряща или 7—8 ч. щебня.

Болѣе жирныя смѣси гораздо дороже и не такъ эластичны, какъ приведенныя, а слѣд. для данной цѣли невыгодны.

Такъ какъ бетонъ самъ по себѣ проницаемъ для воды, то стѣны резервуара покрываются водонепроницаемымъ слоемъ штукатурки, состоящей, какъ

неоднократно упоминалась выше, изъ смѣси 1 ч. портландскаго цементу съ 2—$2^1/_2$ крупнаго песку съ добавленіемъ 0,10 жирной извести въ видѣ известковаго молока для придаванія раствору вязкости. Послѣ тщательной очистки бетонной стѣны помощью метлы и воды, на поверхности ея втеченіи 2—3 дней наносится тѣстообразный растворъ слоемъ толщ. 10 миллим., который затѣмъ выправляется деревянными правилами и часто натирается деревянными гладилками; при этомъ послѣ промывки стѣнъ всѣ гладкія мѣста натесываются острымъ молоткомъ для придаванія имъ шероховатой поверхности. Послѣ затвердѣнія этого раствора на него наносятъ тонкій слой чистаго цементнаго тѣста, который расправляютъ помощью деревянной терки и сглаживаютъ помощью войлочной гладилки. Выравниванія и сглаживанія штукатурки желѣзными или стальными гладилками слѣдуетъ по возможности избѣгать, такъ какъ этимъ легко вызываются пузыри и трещины, преимущественно при сухости и теплѣ. Оштукатурка дна производится тѣмъ-же составомъ и тѣмъ-же путемъ, какъ и оштукатурка стѣнъ. Но здѣсь обыкновенно не наносится чистое цементное тѣсто, а на влажную еще поверхность насыпается цементный порошокъ, который натирается деревянной теркой и разглаживается гладилкой или шлифуется стекляной шлифовкой. При правильномъ выполненіи работы для достиженія плотнаго штукатурнаго слоя достаточно нанести его слоемъ толщ. въ 10 миллим., даже при напорѣ воды въ бакѣ въ нѣсколько метр. высоты. Наоборотъ не слѣдуетъ, ввидахъ сбереженія стоимости, ограничиваться простымъ покрываніемъ бетонныхъ поверхностей тонкимъ слоемъ раствора или-же тонкимъ слоемъ чистаго цементнаго тѣста.

Въ бетонныхъ сооруженіяхъ, которыя должны оставаться водонепроницаемыми, но на днѣ которыхъ производится сильная ходьба или ѣзда или вообще какая либо усиленная работа, или-же дно которыхъ вообще подвержено различнымъ поврежденіямъ отъ внѣшнихъ причинъ, для предохраненія водонепроницаемой покрышки дна можно рекомендовать устройство еще такъ называемаго рабочаго или полезнаго дна изъ слоя бетона въ 8 сантим., покрытаго слоемъ штукатурки толщ. въ 1 сантим.



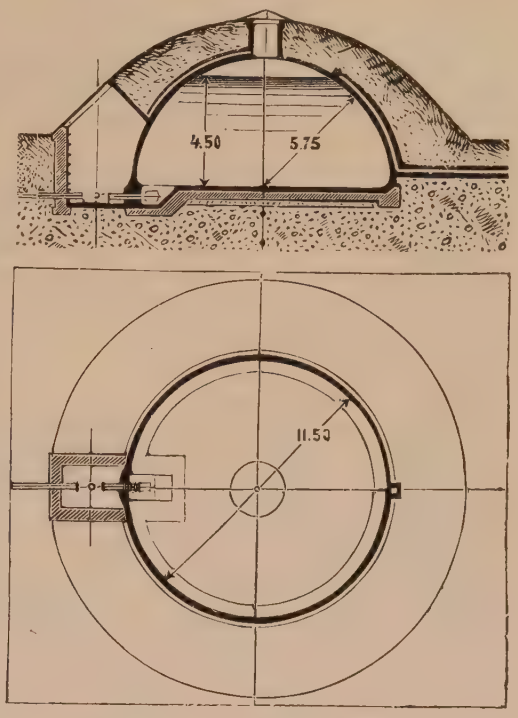
Фиг. 336.
Резервуаръ въ Болоньи.

Если почему либо оказывается неудобнымъ ограничить резервуаръ по какому нибудь направленію лицевыми стѣнами, то наружныя стѣны должны быть направлены вокругъ всего сооруженія въ видѣ опорныхъ стѣнъ. Подобнаго рода резервуаръ устроенъ для водоснабженія Болоньи, гдѣ при выходѣ изъ него акведука, онъ устроенъ изъ кирпичной кладки. Устроенныя подобно показаннымъ на фигурѣ 324 наружныя стѣны пересѣкаются между собой въ 4-хъ углахъ резервуара въ видѣ крестовыхъ сводовъ, между тѣмъ какъ оба среднихъ отдѣленія покрыты бочарными сводами, которые въ свою очередь пересѣкаются со сводами наружныхъ стѣнъ. Горизонтальная проекція гуртовъ и замка свода наружныхъ стѣнъ показана на фигурѣ 336.

Вертикальное разстояніе отъ дна до вершины или замка свода составляетъ 4,30 метр.; наибольшая высота стоянія воды составляетъ 3,65 метр., а радіусъ внутренняго очертанія каждаго свода составляетъ 4,80 метр. Доступъ вовнутрь резервуара происходитъ черезъ два входныхъ колодца, устроенныхъ въ вершинахъ наружныхъ сводовъ. Попадающія на внутренніе своды атмосферныя инфильтраціи проводятся помощью трубъ во внутрь резервуара; стекающіе съ наружныхъ сводовъ атмосферные осадки отводятся по устроенному вокругъ резервуара дренажу.

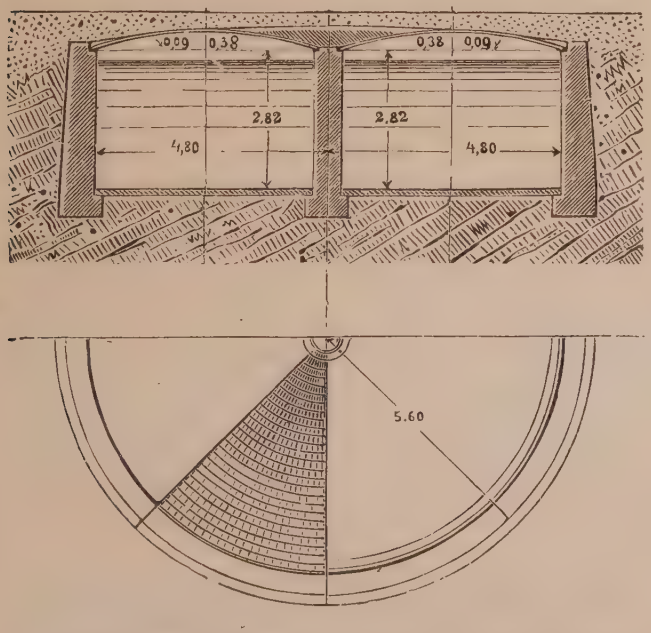
Въ заключеніе упомянемъ здѣсь объ устраиваемыхъ въ землѣ резервуарахъ системы Монье, которымъ обыкновенно придается полушаровая форма, какъ показано на фигурѣ 337. Этотъ видъ резервуара самъ по себѣ чрезвычайно экономиченъ. Наружныя стѣны могутъ быть подвержены растягивающимъ и сжимающимъ усиліямъ, вслѣдствіе чего получаются не-

значительные размѣры стѣнъ; но несмотря на то, насколько намъ извѣстно, устройство этихъ резервуаровъ, по крайней мѣрѣ, до настоящаго времени, не даетъ никакихъ сбереженій стоимости въ сравненіи съ устройствомъ бетонныхъ резервуаровъ. Всѣ подобные резервуары имѣютъ бетонные фундаменты, и доступъ къ нимъ происходитъ помощью опускаемыхъ сверху лѣстницъ. Камера для задвижекъ закрывается наклонной дверью, и къ расположеннымъ въ ней механизмамъ доступъ происходитъ по скобамъ или стремянкамъ. О числѣ дѣйствительно построенныхъ подобныхъ резервуаровъ и о результатѣ ихъ дѣйствія мы, къ сожалѣнію, не можемъ здѣсь привести никакихъ свѣдѣній.



Фиг. 337. Резервуаръ Монье.

Весьма цѣлесообразную форму резервуаровъ, устраиваемыхъ какъ въ рыхлой, такъ и плотной почвѣ, какъ упомянуто было выше, составляетъ цилиндрическая форма съ круглымъ основаніемъ. Подобная форма резервуаровъ уже издавна нашла себѣ обширное примѣненіе для газовыхъ резервуаровъ, такъ какъ они не требуютъ сводчатаго перекрытія; въ послѣднее время (преимущественно съ тѣхъ поръ, какъ по способу Монье получилась возможность удобнаго перекрытія большихъ пролетовъ) эти резервуары все чаще и чаще находятъ себѣ примѣненіе и для водоснабженія. Вслѣдствіе незначительной толщины стѣнокъ стоимость этихъ резервуаровъ значительно уменьшается; нѣкоторый дѣйствующій кнаружу распоръ свода воспринимается желѣзнымъ обручемъ, уложеннымъ на верхнемъ обрѣзѣ стѣны.



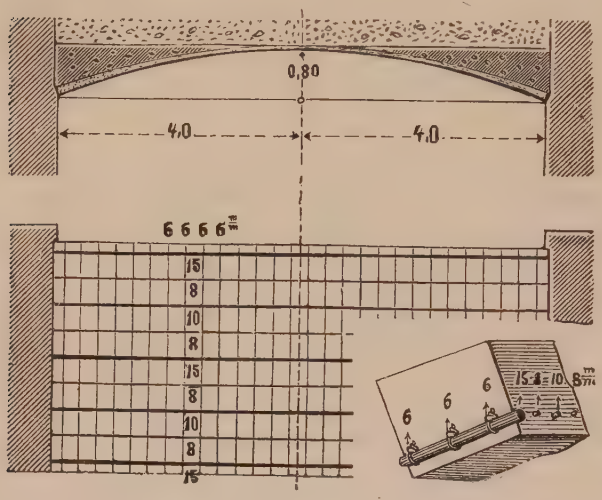
Фиг. 338. Водяной резервуаръ въ Бременѣ.

Подобные резервуары въ рѣдкихъ случаяхъ устраиваются изъ бутовой кладки или кирпича, а большей частью для ихъ постройки примѣняется бетонъ, составляемый изъ 1 ч. портландскаго цемента, 7 ч. крупнаго песку и 7 частей щебня (иногда въ отношеніи 1:6:6). Болѣе жирныя смѣси не даютъ никакихъ болѣе благопріятныхъ результатовъ.

Примѣромъ подобныхъ резервуаровъ можетъ служить устроен-

ный въ Бременѣ и примѣняемый въ качествѣ очистительнаго бассейна резервуаръ, показанный на фиг. 338. Онъ построенъ въ 1888 году и расположенъ подъ проѣзжей дорогой; за все время своей службы онъ дѣйствовалъ вполнѣ исправно. Распоръ свода снаружи воспринимается кольцомъ изъ полосного желѣза (100 + 12 милл.) а изнутри — обручемъ изъ угловаго желѣза.

Само собой разумѣется, что подобные своды Монье могутъ быть устроены для покрытія прямоугольныхъ бассейновъ съ произвольнымъ пролетомъ. Для полосы подобныхъ арокъ шир. 1 метр. размѣры опредѣляются слѣдующимъ образомъ: если черезъ l обозначимъ ширину пролета, черезъ s — высоту стрѣлки свода, черезъ c — толщину въ замкѣ въ метрахъ, черезъ p — равномѣрно распредѣленную полезную нагрузку въ килограммахъ на 1 кв. метр., то дѣйствующія усилія будутъ:



Фиг. 339. Сводъ Монье.

1. Горизонтальный распоръ отъ собственнаго вѣса:

$$H_1 = 2000\, l^2 \left(\frac{s + c}{8\, s} - 0{,}104 \right);$$

2. Горизонтальный распоръ отъ полезной нагрузки:

$$H_2 = \frac{p\, l^2}{8\, s},$$

такъ что общій распоръ H будетъ:

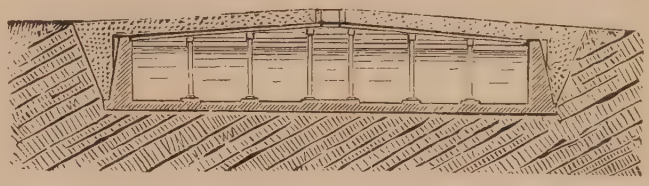
$$H = H_1 + H_2.$$

Если употребляютъ, какъ обыкновенно, смѣсь изъ 1 объема портландскаго цемента и 3 объемовъ гравія, то Общество Монье допускаетъ для подобнаго бетона давленіе въ 30 килогр. на 1 кв. сантим., откуда по вычисленному H можно опредѣлить размѣры замка свода. По направленію къ опорамъ давленіе бываетъ только нѣсколько больше, при чемъ вполнѣ достаточная прочность въ этомъ отношеніи достигается необходимымъ во всякомъ случаѣ заполненіемъ пазухъ свода тѣмъ-же бетономъ. Если нагрузка происходитъ неравномѣрно, то необходимо опредѣлить наибольшій изгибающій моментъ, по которому уже вычисляются размѣры желѣзныхъ связей. Показанныя въ видѣ примѣра на фиг. 339 желѣзныя связи большей частью оказываются достаточными для ширины пролета въ 8 метр. при незначительныхъ изгибающихъ моментахъ, обыкновенно имѣющихъ мѣсто въ резервуарахъ; площадь отверстія сѣтки въ этомъ случаѣ составляетъ 84 квадр. сантим. Обыкновенно желѣзныя связи служатъ только для усиленія арки.

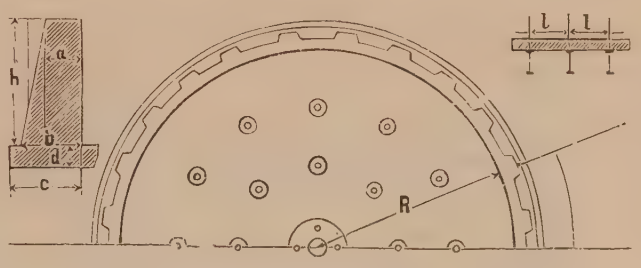
Кольцеобразные водяные бассейны въ томъ видѣ, какъ они уже издавна примѣняются на газовыхъ заводахъ, при правильномъ перекрытіи могутъ также служить въ качествѣ водяныхъ резервуаровъ. Выше на фиг. 90 (см. отд. II, гл. 4) мы привели примѣръ подобнаго бассейна діам. 10 метр., покрытаго каменнымъ шаровымъ куполомъ. Горизонтальное давленіе или распоръ и въ этомъ случаѣ можетъ быть воспринятъ желѣзнымъ обручемъ. Если размѣры кольцевыхъ резервуаровъ болѣе значительны, то для перекрытія устраиваются промежуточныя опоры въ видѣ внутреннихъ кольцевыхъ стѣнъ [1]) или въ видѣ столбовъ, поддерживающихъ опорное кольцо, на которымъ поддерживается покрытіе резервуара. Послѣднее расположеніе показано на фиг. 340. На опорныя кольца въ радіальномъ направленіи укладываются балки, по которымъ можетъ быть непосредственно уложено покрытіе Монье. По-

[1]) Въ Journ. f. Gasbel. u. Wasserv. т. 35, стр. 665 за 1892 описанъ подобный резервуаръ построенный во Франклинѣ (С. Шт.). Въ немъ устроены 3 колодца съ тонкими опорными столбами; въ срединѣ сводъ устроенъ въ видѣ плоскаго купола, а между опонми кольцами — въ видѣ бочарныхъ сводовъ.

лѣднее можетъ быть примѣнено и для значительныхъ пролетовъ, не требуя неудобныхъ размѣровъ. Для опредѣленія размѣровъ этихъ покрытій О-во Монье приводитъ слѣдующій способъ: пусть l (фиг. 341) означаетъ свободный пролетъ въ метрахъ p—общую нагрузку, на 1 кв. метръ покрытія (собственный вѣсъ составляетъ около 2000 килогр. на 1 куб. метр. объема плитъ), d—толщину плиты въ метрахъ; тогда для полосы шир. въ 1 метръ получается:



$$\frac{p\,l^2}{8} = 300000\,\frac{d^2}{6},\quad d = \sqrt{\frac{p\,l^2}{400000}},$$

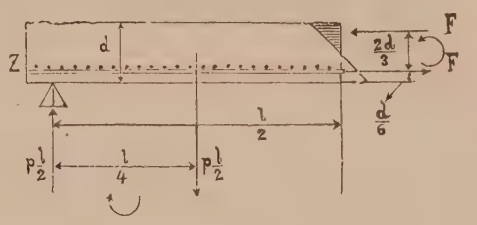


Фиг. 340. Резервуаръ круглаго сѣченія

гдѣ число 300000 означаетъ допускаемое давленіе на 1 кв. метръ площади бетонной кладки. Пара силъ F имѣетъ плечо $\frac{2\,d}{3}$, откуда $F = 300000\,\frac{d}{4}$. Допуская натяженіе желѣза въ 7500000 илогр. на 1 кв. метр., можно вычислить требуемое поперечное сѣченіе f полосы или балки Z въ квадр. метрахъ на 1 метръ ширины, которое будетъ:

$$f = \frac{F}{7500000} = \frac{300000\,d}{4\,.\,7500000} = 0{,}01\,d;$$

если d выражено въ сантим., а f—въ квадр. сант., то получаемъ $f = d$. Толщина наружныхъ стѣнъ кольцеобразныхъ резервуаровъ опредѣляется по извѣстнымъ правиламъ строительнаго искусства.



Фиг. 341.

На слѣдующей таблицѣ приведены размѣры нѣкоторыхъ кольцеобразныхъ водяныхъ бассейновъ, устроенныхъ изъ цементнаго бетона на нѣкоторыхъ германскихъ газовыхъ заводахъ; буквы имѣютъ значеніе, показанное на фиг. 340.

Мѣсто	Емкость въ кубич. метрахъ	R	h	a	b	c	d
Голисъ-Лейпцигъ	2392	10,25	7.25	0,70	1,20	1,40	0,50
Бамбергъ	2425	10,50	7,00	0,70	1,20	1,40	0.60
Крефельдъ	5866	14,90	8,72	0.85	2,00	2,20	1,00
Хемницъ	8842	18,25	8,45	1,00	2.50	3,00	0,80
Висбаденъ	7996	18,30	7,60	1,20	2,00	2.20	0,60
Ньюренбергъ [1])	10357	20,30	8,00	1,00	2,50	3,30	1,00
Дрезденъ [2]).	13000	21,35	9,15	1,50	3,10	4,30	1,00

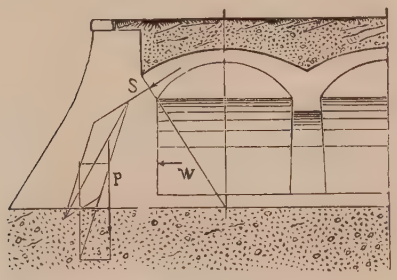
[1]) Сводчатое дно со стрѣлкой шароваго сегмента въ 0,60 метр.; сѣченіе кольцевой стѣны имѣетъ углубленіе на 0,6 метр. при ширинѣ подошвы въ 4 метра.

[2]) Сводчатое дно съ радіусомъ шароваго сегмента въ 342 метра; кольцевая стѣна отъ дна кверху имѣетъ два уступа, расположенные на высотѣ другъ отъ друга въ 1 метръ, причемъ толщина стѣны снаружи уменьшается отъ 4,30 до 3,10 метр.

Всѣ эти сооруженія оказались вполнѣ удовлетворительными, и поэтому ихъ размѣры могутъ служить для сравненія съ размѣрами, получаемыми путемъ вычисленія.

В. Свободно стоящіе резервуары. Если резервуары устраиваются на вершинахъ естественныхъ возвышенностей, причемъ желаемый уровень воды въ нихъ допускаетъ незначительное только углубленіе ихъ въ почву или даже вовсе его не допускаетъ, если затѣмъ обсыпка земли вокругъ резервуара невозможна, то резервуаръ долженъ быть устроенъ свободно стоящимъ или отдѣльнымъ.

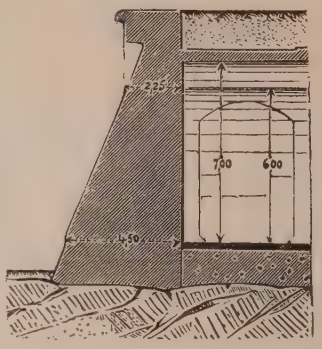
Въ этихъ случаяхъ толщина опорныхъ стѣнъ каменныхъ резервуаровъ достигаетъ наибольшей своей величины, такъ какъ давленіе земли снаружи, противодѣйствующее давленію воды изнутри резервуара, совершенно отсутствуетъ. Дѣйствующія въ поперечномъ сѣченіи силы показаны на фиг. 342; въ зависимости отъ употребляемаго строительнаго матеріала можно опредѣлить, на какомъ разстояніи отъ переднаго нижняго ребра сѣченія стѣны можетъ быть расположена точка пересѣченія равнодѣйствующей съ подошвой стѣны. Если могутъ быть допущены растягивающія усилія, то, конечно, получается значительное сбереженіе каменной кладки, и наоборотъ. Графостатическое опредѣленіе поперечнаго сѣченія стѣнъ производится такъ-же, какъ и для подпорныхъ стѣнъ у плотинъ (см. отд. II, гл. 2), причемъ здѣсь кромѣ давленія воды необходимо принять въ разсчетъ распоръ свода и давленіе земли, насыпаемой поверхъ свода, какъ было указано выше.



Фиг. 342.

Для небольшихъ объемовъ воды примѣняются также и четырехугольные или цилиндрическіе резервуары сист. Монье, а также и желѣзные.

Какъ выше было замѣчено, свободностоящіе резервуары во многихъ отношеніяхъ уступаютъ вышеописаннымъ резервуарамъ: каменные резервуары требуютъ значительной толщины опорныхъ стѣнъ и отдѣланныхъ фронтовыхъ поверхностей, вслѣдствіе чего является значительная ихъ стоимость; кромѣ того они не такъ предохраняютъ содержащуюся въ нихъ воду отъ вліянія внѣшней температуры, какъ земляныя насыпи и требуютъ болѣе частыхъ исправленій. Желѣзные резервуары и резервуары сист. Монье еще больше подвержены вліянію внѣшней температуры.

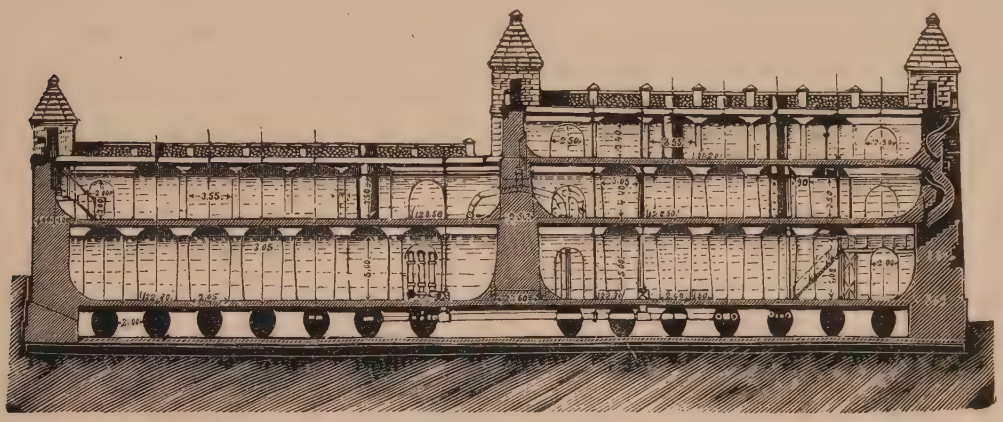


Фиг. 343. Резервуаръ въ Ганноверѣ.

Примѣромъ свободно стоящихъ резервуаровъ можетъ служить резервуаръ, устроенный въ Ганноверѣ, поперечное сѣченіе фронтовой стѣны котораго показано на фиг. 343. Емкость этого резервуара составляетъ около 11000 куб. метр., длина его 32,5, а шир. 30 метр. Поперечныя сѣченія стѣнъ имѣютъ довольно значительные размѣры, несмотря на то, что онѣ сдѣланы изъ хорошо обожженнаго кирпича на цементномъ растворѣ. Это обстоятельство въ связи съ тѣмъ, что внѣшность резервуара снабжена болѣе или менѣе роскошными архитектурными украшеніями, увеличило стоимость резервуара на каждый кубич. метръ его емкости почти вдвое противъ обыкновенной стоимости подобныхъ сооруженій.

Большой свободно стоящій резервуаръ въ три этажа устроенъ въ Манмартрѣ (въ Парижѣ); емкость его составляетъ 11000 куб метр., и въ продольномъ разрѣзѣ онъ изображенъ

на ф. 344. Въ бассейнѣ нижняго этажа уровень воды достигаетъ той-же высоты, какъ и въ Ганноверскомъ резервуарѣ, причемъ толщина наружныхъ стѣнъ не превосходитъ 3,6 метра. Во всякомъ случаѣ поперечное сѣченіе каменной кладки имѣетъ другой видъ, а вертикальная равнодѣйствующая имѣетъ болѣе значительный размѣръ вслѣдствіе большей нагрузки. Такъ какъ пропитываніе почвы вытекающей незамѣтно изъ резервуара водой было-бы весьма опасно для зданія на этой почвѣ, то устройствомъ отдушинъ и отводомъ всѣхъ инфильтрацій наружу достигнута полная сухость фундамента во всякое время. Кромѣ того наблюденіе за водонепроницаемостью стѣнъ въ значительной мѣрѣ облегчено, а также достигается полная возможность удобнаго исправленія самого резервуара и расположенныхъ въ подвальномъ этажѣ трубъ для притока и отвода воды.



Фиг. 344. Резервуаръ на Монтмартрѣ (Парижъ).

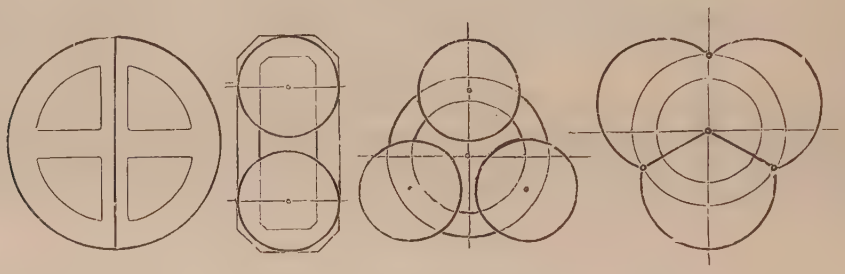
Подобныя сооруженія встрѣчаются неоднократно въ Парижѣ и въ Римѣ. Но тѣмъ не менѣе лучше избѣгать ихъ, такъ какъ они очень дороги и требуютъ частаго ремонта.

Свободно стоящіе резервуары не слишкомъ крупныхъ размѣровъ могутъ быть весьма цѣлесообразно устроены по системѣ Монье и устроенные такимъ образомъ резервуары обыкновенно ставятся на бетонныхъ фундаментахъ. Подобной системы резервуаръ прямоугольной формы довольно крупныхъ размѣровъ устроенъ на Мальбергѣ при Эмсѣ (длин. 20 мерт., шир. 12 и глуб. 2 метр.); круглые бассейны по системѣ Монье, устроенные непосредственно на материковой почвѣ, встрѣчаются во многихъ мѣстахъ.

Предохраненіе резервуаровъ системы Монье отъ вліянія внѣшней температуры можетъ быть достигнуто деревянной обшивкой и перекрытіемъ. Опредѣленіе размѣровъ резервуаровъ параллелопипедоидальной формы производится по указанному выше способу, а для цилиндрическихъ резервуаровъ размѣры опредѣляются вычисленіемъ растягивающихъ усилій, какъ указано выше, причемъ предполагается, что все растягивающее усиліе передается желѣзнымъ связямъ.

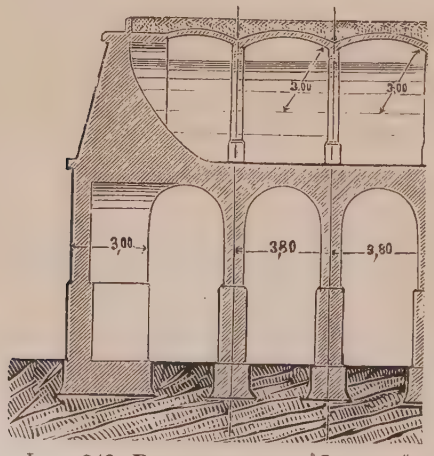
С. Резервуары на отдѣльныхъ основаніяхъ или нижнихъ строеніяхъ. Если профиль мѣстности такова, что желаемый уровень воды и дно резервуара должны быть расположены на нѣкоторой болѣе или менѣе значительной высотѣ надъ землей, то для резервуара требуется устройство отдѣльнаго нижняго основанія. Это основаніе, или по меньшей мѣрѣ фундаментъ его, постоянно устраивается изъ каменной кладки или бетона; надъ фундаментомъ для поддержанія резервуара употребляется или каменная же кладка, или же (преимущественно при желѣзныхъ резервуарахъ) желѣзныя конструкціи. Для полной безопасности сооруженія необходимо въ обоихъ случаяхъ принять во вниманіе не только вертикальную нагрузку, но также и давленіе вѣтра. Относящіяся сюда вычисленія составляютъ предметъ строительной механики, а потому мы на нихъ здѣсь останавливаться не будемъ.

При каменныхъ резервуарахъ и каменныхъ основаніяхъ стоимость весьма быстро возрастаетъ съ высотой этихъ сооруженій, и поэтому въ случаѣ значительнаго превышенія уровня воды надъ поверхностью земли, всегда слѣдуетъ отдавать предпочтеніе желѣзнымъ сооруженіямъ. Такъ какъ эти сооруженія рѣдко примѣняются для водоснабженій съ естественнымъ напоромъ, а чаще всего при водоснабженіяхъ съ искусственнымъ подыманіемъ воды, то соотвѣтственнымъ разсчетомъ водоподъемныхъ сооруженій, т. е. согласованіемъ работы водоподъемныхъ машинъ съ колебаніями расхода (см. выше, гл. 2), можно уменьшить размѣры этихъ резервуаровъ. Въ такомъ случаѣ необходимо произвести сравнительныя исчисленія стоимости, т. е. опредѣлить, при какой емкости резервуара годовой расходъ на проценты съ затраченнаго капитала и на содержаніе резервуара на нижнемъ основаніи будетъ больше того расхода, который вызовется сообразованіемъ машиннаго устройства, трубопроводовъ и проч. съ колебаніями расхода воды. Болѣе дешевому изъ этихъ двухъ способовъ отдается преимущество.



Фиг. 345. Фиг. 346. Фиг. 347. Фиг. 348.

Резервуары этого рода обыкновенно дѣлаются параллелопипедоидальной или цилиндрической формы, причемъ первая форма большей частью примѣняется къ каменнымъ, а вторая къ желѣзнымъ резервуарамъ. Въ случаѣ необходимости раздѣленія резервуара на особыя отдѣленія, цилиндрическая форма оказывается неудобной (фиг. 345), такъ что въ подобныхъ случаяхъ и при желѣзныхъ резервуарахъ устанавливаются 2 или 3 отдѣльныхъ цилиндрическихъ резервуара, какъ на фиг. 346 и 347, или же устраивается прямоугольный резервуаръ съ раздѣлительной стѣнкой.



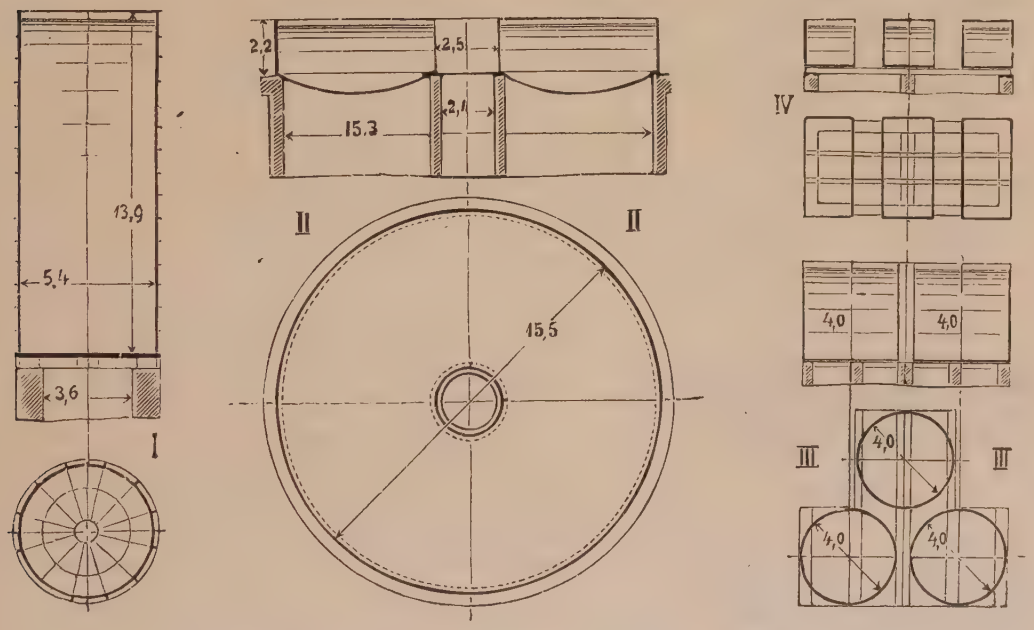
Фиг. 349. Резервуаръ въ Орлеанѣ.

Промежуточныя стѣнки могутъ быть устроены въ видѣ балокъ и служить для передачи нагрузки фундаменту (фиг. 348).

Въ отношеніи конструкціи при устройствѣ основаній для каменныхъ резервуаровъ можно руководствоваться выше приведенными соображеніями; во многихъ случаяхъ все сооруженіе располагается въ нѣсколько этажей, какъ показано на фиг. 349, изображающей въ разрѣзѣ расположеніе резервуара для водоснабженія города Орлеана (во Франціи). Подошва подобныхъ резервуаровъ, въ зависимости отъ свойствъ грунта, поддерживаются или бочарными сводами, опирающимися на промежуточныхъ стѣнахъ, или же крестовыми сводами, лежащими на

отдѣльныхъ столбахъ. Пространства, получаемыя въ этихъ случаяхъ подъ подошвами резервуаровъ, могутъ служить для различныхъ цѣлей (напр. въ качествѣ магазиновъ, амбаровъ и пр.). Въ Парижѣ, гдѣ устроено много такихъ резервуаровъ (Монружъ, Бельвиль, Пасси, Монмартръ), оказалось наиболѣе удобнымъ подъ вышерасположенными резервуарами въ нижнемъ строеніи установить еще резервуары, служащіе сборниками запасовъ воды для распредѣленія ея по сѣтямъ съ меньшимъ напоромъ, когда это временно допускается.

Расположеніе нѣсколькихъ резервуаровъ другъ надъ другомъ на общемъ нижнемъ основаніи находитъ себѣ примѣненіе и въ случаѣ желѣзныхъ резервуаровъ, если оказывается удобнымъ раздѣлить сѣть на пояса съ высокимъ и низкимъ давленіемъ при незначительной разницѣ въ напорахъ. Вообще передача нагрузки основанію производится или помощью особыхъ подушекъ (подпорныхъ балокъ) или же непосредственной установкой стѣнъ резервуара при свободно провисающемъ днѣ его. Способы поддержки резервуаровъ схематически показаны на фиг. 350 (I, II, III и IV); въ послѣднее время почти исключительно



Чугунный резервуаръ въ Карлсруе (Баварія).

Желѣзный резервуаръ въ Лейденѣ (Голландія).

Прямоугольные и круглые резервуары.

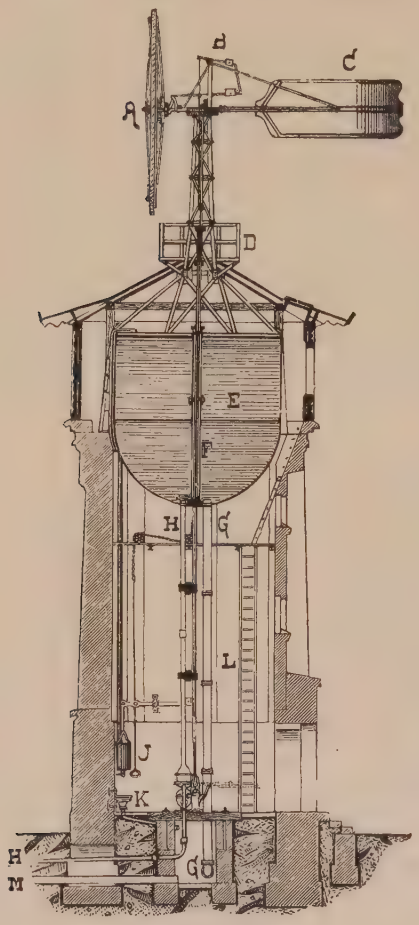
Фиг. 350.

примѣняется способъ установки съ свободно отвисающимъ шаровымъ дномъ, или по такъ называемой системѣ Инца.

Главное преимущество этого способа установки предъ установкой на отдѣльныхъ подушкахъ состоитъ въ легкой доступности всѣхъ отдѣльныхъ частей сооруженія и въ значительной обыкновенно дешевизнѣ этого способа предъ другими.

При небольшихъ сооруженіяхъ, преимущественно для временнаго пользованія, употребляются также устанавливаемые на нижнихъ основаніяхъ деревянные резервуары, устроенные въ видѣ бочекъ, т. е. связанные желѣзными обручами, или же прямоугольной формы связанные изъ досокъ въ шпунтъ между

рамами. Подобныя сооруженія, конечно, сами по себѣ весьма дешевыя, слѣдуетъ примѣнять въ исключительныхъ только случаяхъ, такъ какъ они весьма недолговѣчны, и вода въ нихъ весьма легко подвергается порчѣ (см. отд. III, гл. 4). Точно также мы не питаемъ большого довѣрія къ предлагаемымъ въ послѣднее время бумажнымъ чанамъ [1]) въ качествѣ резервуаровъ для воды.

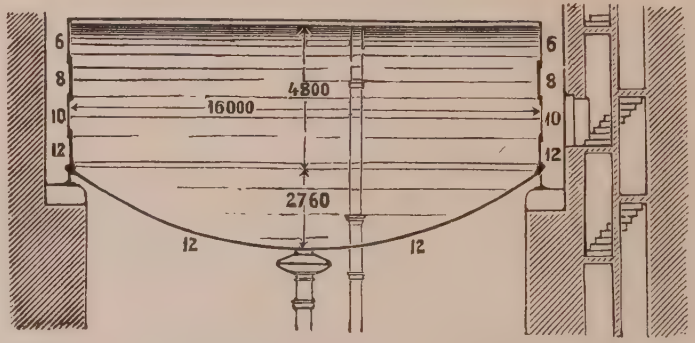


Фиг. 351.

Желѣзные резервуары съ отвисающими донъями встрѣчаются весьма часто при водоснабженіи желѣзнодорожныхъ станцій. На фиг. 351 показанъ типичный резервуаръ этого рода, установленный фирмой Филлеръ и Гиншъ въ Гамбургѣ на станціяхъ Эльгерслебенъ, Гринцене и Клэтце; емкость его составляетъ около 42 куб. метр., и наполненіе его производится помощью насоса, приводимаго въ дѣйствіе вѣтрянымъ двигателемъ *A B C*. Вода берется изъ колодца помощью всасывающей трубы *H* и накачивается въ резервуаръ насосомъ, штанга котораго въ трубѣ *F* проходитъ черезъ резервуаръ *E* и соединяется съ двигателемъ. Сливная труба оканчивается въ пріемникѣ *J*, который автоматически останавливаетъ насосъ и затѣмъ автоматически-же опять сцѣпляетъ его съ двигателемъ при прекращеніи изливанія изъ сливной трубы. Помощью спускной трубы *G* питаются водопроводные краны. Сливающаяся изъ резервуара вода поступаетъ въ бассейнъ *K*, изъ котораго она выходитъ въ показанную на чертежѣ спускную шахту и отводится по опорожнительной или спускной трубѣ *M*. Лѣстница *L* служитъ для входа на водонапорную башню и устроенную на крышѣ ея галлерею *D* при осмотрѣ двигателя.

Полушаровыя донья резервуаровъ вызываютъ нагрузку опоры одними только вертикальными силами, если только они лежатъ на опорахъ тѣми мѣстами, гдѣ вертикальныя цилиндрическія стѣнки пересѣкаются съ шаромъ. Опорныя кольца въ этомъ случаѣ не подвергаются никакимъ тангенціальнымъ натяженіямъ.

Нѣсколько иное явленіе происходитъ при провисающемъ шаровомъ днищѣ резервуара, радіусъ котораго больше радіуса окружающаго его вертикальнаго цилиндра, какъ это, напр., имѣетъ мѣсто въ изображенномъ на фиг. 352 резервуарѣ емкостью въ 1200 куб метр. для водоснабженія города Галле. Нагруженное днище резервуара здѣсь развиваетъ на окружности вертикальныхъ стѣнокъ цилиндра натяженіе по направленію



Фиг. 352. Резервуаръ въ Галле.

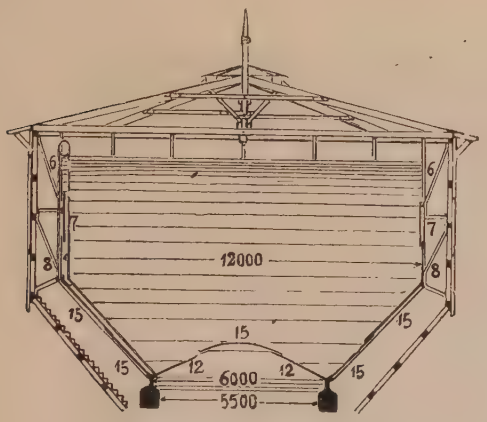
[1]) Papierzeitung, т. 12, стр. 750. 1887.

касательной къ окружности днища въ вертикальномъ сѣченіи резервуара. Если разложить это растягивающее усиліе на два составляющихъ, изъ коихъ одно направлено горизонтально, а другое вертикально, то для уничтоженія всякой нагрузки на вертикальныя стѣнки цилиндра горизонтальное усиліе должно цѣликомъ передаваться опорному кольцу, вызывая въ немъ давленіе T которое при углѣ наклона воображаемой касательной къ горизонтами β, будетъ

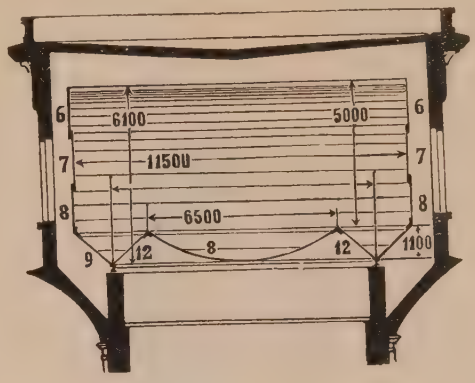
$$T = \frac{P}{2\pi\, tg\, \beta},$$

гдѣ P обозначаетъ вѣсъ воды въ резервуарѣ плюсъ вѣсъ самого днища въ киллограммахъ.

Это измѣняющееся для различныхъ высотъ воды тангенціальное давленіе при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можетъ вызвать стремленіе къ движенію опорнаго кольца по каменной кладкѣ, на которой оно уложено; это стремленіе по возможности должно быть уничтожено. Кромѣ того очевидно, что нижнее строеніе, т. е. стѣнки башни, несущія на себѣ резервуаръ, должны быть расположены непосредственно подъ вертикальными цилиндрическими стѣнками резервуара, вслѣдствіе чего внутренняя ширина башни должна быть приблизительно равна діаметру желѣзнаго резервуара. Поэтому башня получаетъ снаружи сравнительно большую лицевую поверхность, причемъ увеличивается ея стоимость.



Фиг. 353. Резервуаръ въ Неу-Стасфуртѣ.

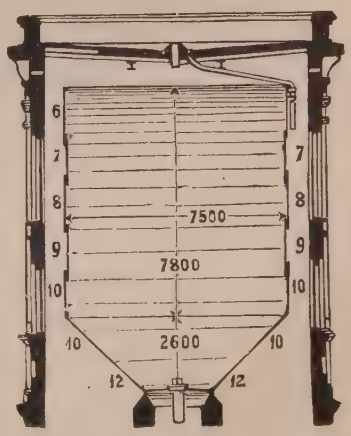


Фиг. 354. Резервуаръ въ Дюрени.

Это обстоятельство подало Инцу мысль устроить резервуаръ, кольцевая опора котораго имѣла-бы меньшій діаметръ, нежели наружная цилиндрическая оболочка резервуара, при чемъ выступающія наружу и во внутрь окружности кольца части днища получаютъ такіе уклоны, что горизонтальныя слагающія дѣйствующихъ на кольцо силъ въ вертикальной діаметральной плоскости дѣйствуютъ противоположно другъ другу, т. е. уравновѣшиваются сопротивленіемъ кольца. Поэтому общее устройство оказывается значительно дешевле, а сооруженіе—надежнѣе, такъ какъ нижнему основанію передаются однѣ только вертикальныя силы.

Принципъ этой конструкціи допускаетъ разнообразныя измѣненія общаго вида; на фиг. 353—355 показаны нѣкоторые построенные по этому принципу резервуары.

На фиг. 355 изображенъ резервуаръ для водоснабженія города Рамшейда, имѣющій емкость въ 400 куб. метр. и высоту сливного отверстія надъ поверхностью земли въ 43 метра. Здѣсь коническое дно опирается на внутреннюю кольцевую каменную стѣну, а наружныя облицовочныя стѣны зданія направлены до уровня земли. Внѣшній видъ водонапорной башни показанъ на фиг. 356.



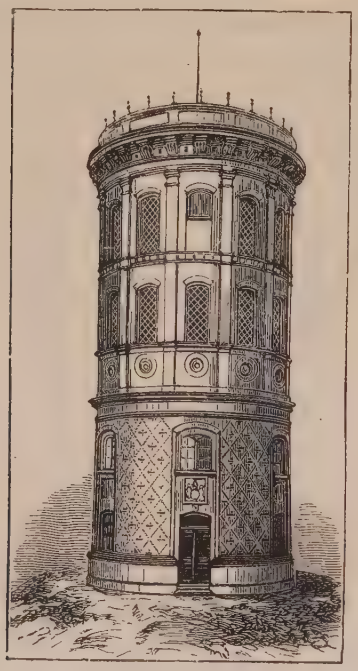
Фиг. 355. Резервуаръ въ Ремшейдѣ.

Болѣе цѣлесообразное примѣненіе этого принципа представляютъ собой изображенныя на фиг. 353 и 354 конструкціи, показывающія соотвѣтственные резервуары въ Дюренѣ (емкостью 550 куб. метр.) и въ Ней-Штасфуртѣ (емкостью въ 600 куб. метр.). Здѣсь обдѣлочныя стѣны зданія не доведены до уровня земли, вслѣдствіе чего стоимость поддерживающаго нижняго основанія оказывается меньше, и все основаніе для своего устройства требуетъ меньшей площади.

Размѣры цилиндрической части резервуара обыкновенно вычисляются по формулѣ:

$$\delta = \frac{h\,r}{1000\,k},$$

гдѣ δ означаетъ толщину стѣнокъ, h—высоту воды, r—радіусъ цилиндра, всѣ выраженные въ сантиметрахъ, а k—коэффиціентъ прочности, т. е. натяженіе на 1 кв. сантим. площади сѣченія, которому безопасно можетъ быть подверженъ матеріалъ стѣнокъ резервуара (для листового желѣза около 750 килогр.). Эта формула оказывается вполнѣ удовлетворительной, но даетъ практическіе результаты только приблизительные. Для достиженія надлежащей жесткости цилиндрическихъ стѣнокъ резервуара обыкновенно принимаютъ толщину ихъ не меньше 5 миллим., а въ тѣхъ случаяхъ, когда вычисленіе по приведенной формулѣ, даетъ болѣе значительную толщину, прибавляютъ еще соотвѣтствующую добавочную толщину ввиду ослабленія стѣнокъ заклепочными дырьями, не вполнѣ тщательнаго выполненія и т. д., и т. д.



Фиг. 356. Водяная башня въ Ремшейдѣ.

Фиг. 357. Водяная башня въ Леуварденѣ.

Точное вычисленіе натяженій, являющихся въ коническихъ, шаровыхъ и др. днищахъ, въ зависимости отъ устройства резервуаровъ, представляетъ собой большія затрудненія; точно также для признанія существующихъ формулъ вполнѣ неопровержимыми нѣтъ еще достаточныхъ опытныхъ данныхъ. Указывая здѣсь на относящіяся къ этому вопросу научныя работы Форхгеймера [1]), гдѣ онъ выводитъ уравненіе кривой прогиба, а слѣд. даетъ вполнѣ удовлетворяющій теоретическимъ требованіямъ результатъ вычисленій, мы тѣмъ не менѣе совѣтуемъ для каждаго новаго проектируемаго сооруженія сравнить результатъ, полученный теоретическими вычисленіями, съ дѣйствительной толщиной стѣнокъ, принятой въ другихъ уже испытанныхъ конструкціяхъ подобной величины. Точно также считаемъ здѣсь нелишнимъ преду-

[1]) Forchheimer, Ph. Die Berechnung ebener und gekrümmter Behälterboden, Berlin. 1894.

предить противъ пользованія излюбленными „простыми“ формулами, какъ напр. формулой Дюпюи, въ которой натяженіе желѣза шарового днища принято независимымъ отъ пролета и просто пропорціональнымъ радіусу шара, помноженному на глубину воды, [1]) и друг.

Что касается внѣшней отдѣлки водонапорныхъ башенъ для помѣщенія желѣзныхъ резервуаровъ, то считаемъ нелишнимъ здѣсь замѣтить, что по нашему мнѣнію не слѣдуетъ дѣлать большія затраты для этой цѣли. На фиг. 356 и 357 показаны двѣ водонапорныхъ башни, изъ коихъ первая устроена при водоснабженіи въ Ремшейдѣ (емкость резервуара = 400 куб. метр.), а вторая въ Леейварденѣ (емкость резервуара = 500 куб. метр.). Вслѣдствіе значительно меньшаго діаметра второй башни, не смотря на бо́льшую емкость резервуара, стоимость ея гораздо меньше первой, при чемъ, на нашъ взглядъ, она не уступаетъ первой ни въ красотѣ, ни въ цѣлесообразности Чрезвычайно роскошный фасадъ сдѣланъ также у водонапорной башни въ Мангеймѣ, вслѣдствіе чего стоимость ея доходитъ до 225 марокъ (около 40 руб.) на 1 куб. метръ скопляемой воды.

Вообще желѣзные резервуары обводятся фахверковыми, желѣзными или деревянными съ каменной закладкой стѣнами; случаи отсутствія подобныхъ стѣнъ весьма рѣдки (такъ напр. желѣзный резервуаръ емкостью въ 600 куб. метр. на желѣзнодорожной станціи Гереонъ возлѣ Кёльна и резервуаръ въ Мюльгеймѣ не имѣютъ облицовочныхъ стѣнъ). Обведеніе каменными стѣнами производятъ постоянно въ тѣхъ случаяхъ, когда наружный діаметръ нижняго основанія (водонапорной башни) значительно больше діаметра резервуара. Если-же діаметръ резервуара больше, что съ точки зрѣнія наименьшей стоимости должно считаться наиболѣе выгоднымъ, то выложенныя каменной кладкой желѣзныя или деревянныя фахверковыя стѣны служатъ для предохраненія резервуара отъ вліянія внѣшней температуры. Само собой разумѣется, что всякая водонапорная башня должна быть снабжена постоянной или приставной лѣстницей для возможности осмотра резервуара, его чистки, исправленія и проч. Если притекающая въ резервуаръ вода имѣетъ температуру, измѣняющуюся параллельно температурѣ воздуха, то водонапорная башня должна быть снабжена нагрѣвательными приспособленіями (для отопленія), и это обстоятельство необходимо имѣть въ виду при началѣ постройки. При снабженіи рѣчной водой иногда рекомендуется нагрѣваніе воды въ резервуарѣ проводомъ къ нему пара.

Необходимо обратить вниманіе на то, чтобы желѣзный резервуаръ былъ доступенъ со всѣхъ сторонъ, преимущественно со стороны дна, для удобства чистки, исправленій и проч. Кромѣ того устройство резервуара по возможности должно быть таково, чтобы всѣ его поверхности или большая часть ихъ представляли бы собой развертывающіяся поверхности, такъ какъ при неразвертывающихся поверхностяхъ (напр. при шаровыхъ днищахъ) плоскіе первоначально листы при штампованіи мѣстами растягиваются и сжимаются, вслѣдствіе чего качества ихъ болѣе или менѣе ухудшаются. Діаметръ резервуара съ отвисающимъ шаровымъ днищемъ не долженъ превышать 25 метр., такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ получаются такіе размѣры листовъ, при которыхъ правильная ихъ обработка дѣлается почти невозможной.

Резервуары системы Монье съ нижними основаніями, насколько намъ извѣстно, исключительно устанавливаются на опорныхъ подушкахъ или балкахъ, т. е. дѣлаются съ плоскими днищами. Фирмой Клэнне въ Дортмундѣ изготовляются желѣзные резервуары съ днищами изъ волнистаго желѣза.

Въ Америкѣ, гдѣ каменная кладка сравнительно весьма дорога, соображенія о наименьшей стоимости сооруженія привели къ замѣнѣ устанавливаемыхъ на нижнихъ основаніяхъ резервуаровъ такъ называемыми стояками цилиндрической или бутылеобразной формы, которые устраиваются діаметромъ до 9 метр. Насколько удовлетворительно достигается подобная замѣна, мы разсмотримъ ниже; они устанавливаются на значительныхъ высотахъ (30—40 метр. и больше), и изготовляются съ желѣзными или стальными стѣнками.

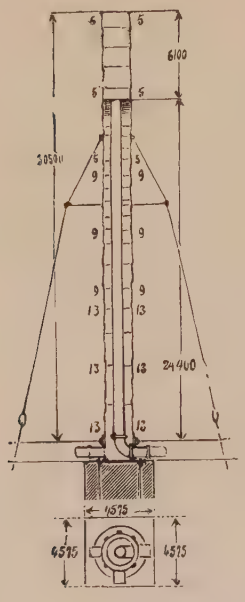
На фиг. 358 приведенъ примѣръ подобнаго сооруженія, построеннаго въ Джерси-Сити (въ Нью-Іоркѣ). Желѣзный стоякъ установленъ на кирпичномъ фундаментѣ, т. е. насаженъ на чугунную подставку, соединенную болтами съ фундаментомъ. По срединѣ стояка діам.

---

[1]) Если R означаетъ радіусъ шарового днища h—наибольшую глубину воды въ резервуарѣ, то по формулѣ Дюпюи наибольшее натяженіе s для всякаго пролета будетъ $s = 500\,R.\,h$ т. е. для всѣхъ плоскихъ днищъ $s = \infty$.

1,8 метр. расположена сливная труба діам. 610 миллим., сообщающаяся съ резервуаромъ низкаго давленія. Идущая отъ насоса впускная труба, а также и распредѣлительная труба, поступаютъ въ нижнюю чугунную подставку стояка и имѣютъ діаметры по 710 миллиметр. Толщина листовъ, мѣры высоты и проч. приведены на эскизѣ.

Для предохраненія отъ опрокидыванія стояки прикрѣпляются къ фундаментамъ болтами. Весьма часто они находятъ себѣ примѣненіе въ тѣхъ случаяхъ, когда существуетъ одинъ поясъ съ высокимъ и одинъ съ низкимъ давленіемъ, снабженный каменнымъ резервуаромъ, при чемъ въ послѣдній какъ въ приведенномъ нами примѣрѣ, по особому трубопроводу поступаетъ вода, сливающаяся изъ стояка.



Фиг. 358. Стоякъ для Jersey-City.

Само собой разумѣется, что при устанавливаемыхъ на нижнихъ основаніяхъ резервуарахъ или стоякахъ должны быть выбраны достаточные размѣры, при которыхъ натяженія матеріала не должны превышать опредѣленныхъ допускаемыхъ предѣловъ. При подобномъ устройствѣ и достаточномъ предохраненіи отъ дѣйствія вѣтра эти сооруженія оказываются такъ же надежны и прочны, какъ всякія другія конструкціи. Всѣ случаи обрушенія подобныхъ сооруженій постоянно происходили вслѣдствіе недостатковъ въ конструкціи.

Поддерживаемое многими мнѣніе о порчѣ воды въ желѣзныхъ резервуарахъ, какъ упомянуто выше, не подтвердилось путемъ наблюденій. Тщательная окраска бака матеріаломъ, не содержащимъ въ себѣ растворимыхъ водой вредныхъ веществъ, оцинкованіе резервуара (но не покрытіе оловомъ) вполнѣ предохраняютъ отъ вредныхъ для здоровья вліяній; точно также постоняное движеніе воды путемъ обновленія содержимаго въ резервуарѣ въ достаточной степени противодѣйствуетъ образованію вредныхъ органическихъ или организированныхъ веществъ.

Эквивалентныя резервуарамъ сооруженія. Выше мы замѣтили, что во всякомъ водоснабженіи резервуаръ дѣлается излишнимъ тогда, когда водопроводъ во всякое данное время доставляетъ такое количество воды, какое расходуется въ снабжаемой мѣстности. Это состояніе приблизительно можетъ быть достигнуто при искусственномъ подыманіи воды и достаточной измѣняемости производительности водоподъемныхъ машинъ, какъ мы это видѣли на примѣрѣ 2 въ началѣ этой главы. Измѣненіе производительности водоподъемныхъ машинъ можетъ быть достигнуто измѣненіемъ числа ихъ оборотовъ, но всегда только приблизительно въ той же степени, въ какой измѣняется расходъ воды. Совершенно невозможно избѣгнуть временами небольшихъ излишковъ доставляемой насосами воды противъ ея расхода, а временами небольшихъ недостатковъ воды. При подобныхъ обстоятельствахъ непосредственное водоснабженіе безъ промежуточнаго органа дѣлается невыполнимымъ; легко понять, что при избыткѣ доставляемой насосами воды неизбѣжно произойдетъ ударъ воды, а при недостаткѣ можетъ произойти разрывъ водяного столба въ главныхъ проводахъ.

Какъ промежуточный органъ или средство для выравниванія колебаній расхода воды, мы до сихъ поръ разсматривали резервуаръ, вполнѣ удовлетво-

рительно исполняющій свою функцію скопленія воды и отдачи ея при недостаткѣ притока изъ насосовъ въ желаемомъ количествѣ. Если ограничить скопленіе воды до наименьшей его величины, что, конечно, возможно только при безпрерывномъ дѣйствіи во время расходованія, то вмѣсто резервуаровъ могутъ быть примѣнены аккумуляторы, воздушные котлы и подъемныя трубы. Эти вспомогательные органы отличаются отъ резервуаровъ тѣмъ, что они въ сущности исполняютъ только одну изъ функцій послѣднихъ, состоящую въ поддержаніи возможно постояннаго требуемаго давленія въ сѣти.

Аккумуляторы (Фиг. 359) состоятъ изъ погружаемаго въ вертикальную водопроводную трубу R поршня T и нагружающаго его груза P. Если выходящій изъ насосной станціи напорный трубопроводъ доставляетъ количество воды меньше расходуемаго въ мѣстахъ потребленія на этомъ трубопроводѣ, то упомянутый поршень T съ постояннымъ поперечнымъ сѣченіемъ F опускается; въ противномъ же случаѣ этотъ поршень долженъ давать мѣсто избытку доставляемой воды, т. е. долженъ подыматься. Въ каждомъ изъ этихъ случаевъ получается состояніе равновѣсія, т. е. давленіе p T воды на поршень (при чемъ $p = \gamma h$, гдѣ h — высота напора) должно быть равно вѣсу поршня вмѣстѣ съ сопротивленіями въ сальникѣ и буксѣ направляющихъ линеекъ груза P. Излишне доставленнымъ или недостаточнымъ количествомъ воды q (колебающимся количествомъ воды) поршень подымается или опускается на высоту $q : F$; вслѣдствіе необходимости существованія равновѣсія высота напора увеличивается или уменьшается соотвѣтственно этой величинѣ, откудамы видимъ, что при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ измѣненія давленія будутъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше поперечное сѣченіе F поршня.

Фиг. 359.

Подобные аккумуляторы съ весьма большими площадями сѣченія поршней весьма дороги, преимущественно при большихъ давленіяхъ, или соотвѣтственно низкихъ положеніяхъ аккумулятора, вслѣдствіе чего они примѣняются только при небольшихъ сооруженіяхъ, какъ напр. заводскихъ водоснабженіяхъ и проч., и весьма рѣдко встрѣчаются въ большихъ водоснабженіяхъ.

Подобное же дѣйствіе, какъ аккумуляторы, производятъ и воздушные котлы. Если V_0 означаетъ объемъ воздуха въ воздушномъ котлѣ при нормальной работѣ, т. е. въ тотъ моментъ, когда количество воды, доставляемой изъ источника (или насосной станціи), равно количеству расходуемой въ напорномъ трубопроводѣ, p_0 — соотвѣтствующее этому моменту давленіе воздуха въ котлѣ, то при увеличеніи или уменьшеніи расхода на q куб. метр. воды объемъ воздуха въ котлѣ измѣнится на величину V, соотвѣтствующую количеству поступающей въ котелъ или выпускаемой изъ него воды, при чемъ новому объему будетъ соотвѣтствовать другое давленіе p. При этомъ получимъ:

$$V - V_0 = q; \; pV = p_0 V_0,$$

гдѣ второе уравненіе соотвѣтствуетъ закону Маріотта въ предположеніи, что температура остается неизмѣнной. Изъ этихъ уравненій получаемъ:

$$p = p_0 \frac{V_0}{V_0 + q},$$

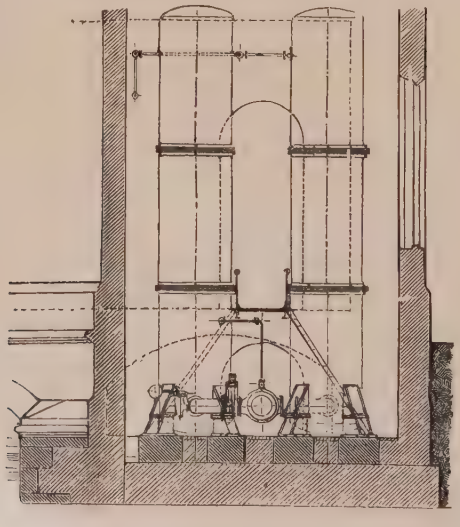
откуда видно, что чѣмъ значеніе второго множителя въ правой части равенства ближе подходитъ къ 1, тѣмъ ближе $p = p_0$. Но давленіямъ p и p_0 соотвѣтствуютъ существующія въ началѣ трубопровода высоты напора, такъ что можно также написать

$$h = h_0 \frac{V_0}{V_0 + q}, \quad V_0 = \frac{q\,h}{h_0 - h}.$$

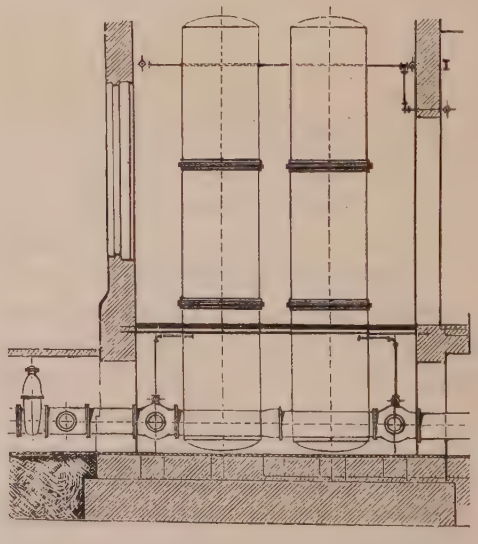
Чѣмъ меньше колебанія высоты напора $h_0 - h$, тѣмъ больше должно быть V_0, и обратно. Такимъ образомъ по опредѣленнымъ допускаемымъ величинамъ q и h можно опредѣлить объемъ воздушнаго котла.

Въ самомъ неблагопріятномъ случаѣ, когда колюблющееся количество q равно нормальному количеству подымаемой воды, или когда расходъ въ сѣти понижается до нуля, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, въ ур. для V_0 слѣдуетъ подставить наибольшее значеніе величины q.

Если требуется допускать незначительныя только колебанія высоты напора, какъ это напр., особенно важно при насосныхъ станціяхъ, машины котораго не легко могутъ быть согласованы съ колебаніями работы, то будетъ весьма умѣстно примѣнять большой воздушный котелъ или нѣсколько ихъ. Во всякомъ случаѣ воздушные котлы вполнѣ замѣняютъ собой резервуары по отношенію къ уравниванію колебаній давленія; скопленіе же какихъ либо запасовъ воды совершенно невозможно при воздушныхъ котлахъ (или возможно только въ весьма ограниченной степени и попутно). Такимъ образомъ необходимо приблизительное соотвѣтствіе между притокомъ и расходомъ воды. Въ сравненіи съ устройствомъ резервуаровъ сѣть съ воздушнымъ котломъ имѣетъ то несомнѣнное преимущество, что въ случаѣ надобности можно увеличить давленіе воды, распредѣляемой въ снабжаемой мѣстности по напорному трубопроводу или сѣти, если только машины могутъ развивать соотвѣтствующую работу, между тѣмъ какъ при напорномъ резервуарѣ давленіе воды въ сѣти не можетъ превышать нормальное давленіе.



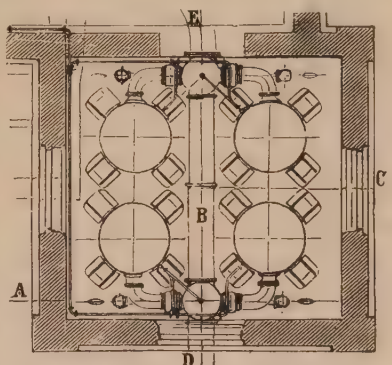
Фиг. 360.



Фиг. 361.

Водоснабженіе безъ напорнаго резервуара съ большимъ воздушнымъ котломъ дѣйствуетъ уже втеченіе 15 лѣтъ въ Аугсбургѣ. Полъ машиннаго помѣщенія расположенъ на

10 метр. ниже высшей точки городскихъ улицъ; такъ какъ въ этихъ точкахъ требуется еще напоръ въ 30 метр., причемъ потеря напора въ сѣти до этихъ точекъ составляетъ около 12,5 метр., то требуемая высота подъема воды въ машинномъ помѣщеніи составляетъ 52,5 метр., а при этой высотѣ устройство резервуара на нижнемъ основаніи, какъ это необходимо по мѣстоположенію Аугсбурга, было-бы слишкомъ дорого. Такъ какъ по сѣти расположено много состоянно дѣйствующихъ водоразборовъ, и вода имѣется въ достаточномъ количествѣ, причемъ тюрбины могутъ развивать весьма большую работу, не вызывая лишнихъ расходовъ. то вмѣсто напорнаго резервуара рядомъ съ напорнымъ трубопроводомъ при выходѣ его изъ машиннаго помѣщенія расположено 4 большихъ напорныхъ воздушныхъ котла діам. по 1,5 и высотой по 10 метр. Общая емкость всѣхъ котловъ составляетъ 90 куб. метр. (емкость каждаго = 22,5 куб. метр.); каждый отдѣльный воздушный котелъ помощью расположенной между нимъ и напорной трубой задвижки можетъ быть выключенъ изъ сѣти и снабжается воздухопроводомъ (для впуска воздуха), предохранительнымъ клапаномъ, спускнымъ краномъ и вообще всей необходимой арматурой. Всѣ 4 воздушныхъ котла расположены въ одной водонапорной башнѣ, горизонтальный разрѣзъ которой изображенъ на фиг. 362. Вертикальные разрѣзы на фиг. 360 и 361 даютъ вполнѣ ясное представленіе объ этомъ сооруженіи. Толщина стѣнокъ воздушныхъ котловъ для давленія въ 12 атмосф. выбрана въ 13 миллиметр., причемъ продольные швы сдѣланы двумя рядами заклепокъ, а поперечные — съ накладкой; шаровое днище каждаго котла выштамповано изъ одного цѣльнаго листа. Каждый отдѣльный котелъ склепанъ на мѣстѣ установки изъ трехъ частей съ обточенными кольцами изъ угловаго желѣза, и всѣ они помощью чугунныхъ подставокъ установлены на общемъ бетонномъ фундаментѣ.



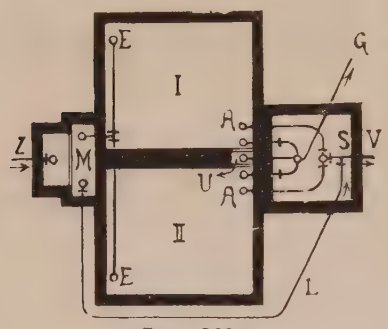
Фиг. 362.

Стояки. Если по какимъ-либо обстоятельствамъ нежелательно примѣненіе ни того, ни другого изъ указанныхъ способовъ, то колебанія давленія вслѣдствіе измѣняющихся количествъ доставляемой воды могутъ быть сдѣланы безвредными помощью сливныхъ трубъ или стояковъ въ произвольныхъ мѣстахъ сѣти. Стояки не образуютъ собой бассейновъ для воды, а принципъ дѣйствія ихъ изложенъ ниже (см. отд. IV, гл. 18); между каждыми двумя стояками происходитъ измѣняющійся расходъ, вслѣдствіе чего происходятъ также колебанія высотъ водяныхъ столбовъ въ стоякахъ. Дѣйствіе этихъ стояковъ и вліяніе ихъ на высоту напора могутъ быть опредѣлены математически подобнымъ же путемъ, какъ это будетъ изложено ниже (см. гл. 8) при опредѣленіи высотъ напора въ различныхъ участкахъ сѣти.

Стояки дѣйствуютъ такъ-же, какъ и расположенное въ сѣти большое число резервуаровъ (см. гл. 8). Во многихъ случаяхъ подобныя трубы могутъ быть расположены въ центрѣ снабжаемой мѣстности (какъ напр. на колокольняхъ, высокихъ зданіяхъ и проч.), чѣмъ можетъ быть достигнуто наиболѣе совершенное уравниваніе давленія въ сѣти, такъ какъ средство для этого уравниванія расположено въ непосредственной близости къ тому мѣсту, гдѣ преимущественно происходитъ нарушеніе равновѣсія. Если придать этимъ стоякамъ болѣе или менѣе значительную емкость (какъ это дѣлается, напр., въ Америкѣ), или если замѣнить ихъ водонапорными башнями съ большими резервуарами такъ, чтобы они помимо уравниванія колебаній давленія могли бы также служить для скопленія запасовъ воды на случай перерыва доставленія ея по главному трубопроводу, то безъ сомнѣнія получается наилучшее расположеніе, какое только можетъ быть устроено во всякомъ водоснабженіи.

Отдѣльныя приспособленія для резервуаровъ. Выше мы уже упомянули о нѣкоторыхъ приспособленіяхъ для резервуаровъ и на фиг. 317, 319—321 и 329—331 указали тѣ изъ нихъ, которыя обыкновенно устраиваются при резервуарахъ: здѣсь разсмотримъ еще нѣкоторыя приспособленія, необходимыя при резервуарахъ въ особыхъ случаяхъ.

Впускныя приспособленія. Если резервуаръ установленъ въ качествѣ проходного резервуара, то часто бываетъ весьма полезно измѣрять количества доставляемой въ него воды. Для этой цѣли предъ резервуаромъ или предъ различными его отдѣленіями устанавливается сливной бассейнъ *M* (фиг. 363), въ который поступаетъ вода изъ водопроводной трубы *Z*, а измѣреніе количества поступающей воды можетъ быть произведено помощью водослива при поступленіи воды изъ сливного бассейна въ резервуаръ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ измѣреніе воды производится непосредственно помощью водомѣровъ, по которымъ должна пройти вся доставляемая по трубопроводу вода. Но этотъ способъ оказывается дороже и вызываетъ потерю напора. Но съ другой стороны онъ допускаетъ расположеніе конца трубы въ произвольномъ мѣстѣ резервуара, между тѣмъ какъ при измѣреніи водосливомъ вода должна быть поднята выше края водослива. Величина подпора воды при измѣреніи помощью водослива обусловливается количествомъ доставляемой воды, а также и шириной водослива *U*, которой она обратно пропорціональна; такимъ образомъ, если не имѣется въ распоряженіи избытка напора, то необходимо сдѣлать ширину водослива по возможности больше. Для предупрежденія поврежденія дна резервуара вода не должна непосредственно съ водослива *M* падать въ резервуаръ, но ее необходимо предварительно впускать въ промежуточный пріемникъ, изъ котораго она по трубамъ уже проводится въ отдѣленія резервуара. Для дальнѣйшаго усовершенствованія этого приспособленія обыкновенно устраивается еще обходный трубопроводъ *L* (ср. также фиг. 287), также отвѣтвляемый отъ промежуточнаго бассейна подъ измѣрительнымъ водосливомъ *M*, такъ что и въ этомъ случаѣ можно измѣрять количество протекающей воды. Это приспособленіе оказывается весьма цѣлесообразнымъ въ тѣхъ случаяхъ, когда вся вода въ снабжаемомъ участкѣ отпускается по водомѣрамъ (см. гл. 1), такъ какъ оно даетъ возможность во всякое время контролировать всѣ потери воды; вообще же оно встрѣчается весьма рѣдко.



Фиг. 363.

Если вода изъ трубопровода заимствуется по не калиброваннымъ истокамъ, то измѣрительный приборъ устанавливается не предъ резервуаромъ, а въ томъ мѣстѣ трубопровода, выше котораго никакого боковаго расхода воды не производится. Подобный случай имѣетъ мѣсто при тѣхъ расположеніяхъ, гдѣ резервуаръ установленъ сбоку или въ концѣ главнаго провода, служащаго вмѣстѣ съ тѣмъ и распредѣлительнымъ проводомъ. Такъ какъ здѣсь для свободнаго истока воды требуется установка отдѣльной водонапорной башни, то всегда оказывается удобнѣе установить въ главномъ проводѣ большое число работающихъ подъ давленіемъ водомѣровъ, какъ это въ видѣ добавленія произведено, напр., въ водоснабженіи Фрейбурга.

Если резервуаръ состоитъ больше, чѣмъ изъ двухъ отдѣленій, то для упомянутаго приспособленія выбираютъ такое мѣсто, отъ котораго трубы, ведущія въ отдѣльные бассейны или отдѣленія резервуара, имѣютъ наименьшую длину,

какъ напр. въ случаѣ 4-хъ отдѣленій — на мѣстѣ пересѣченія раздѣлительныхъ стѣнъ.

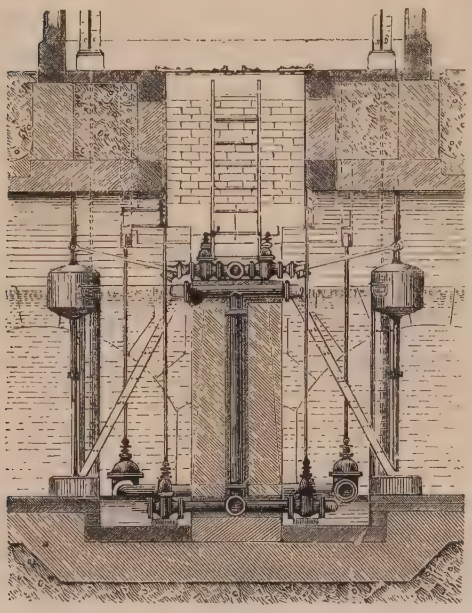
Выходъ распредѣлительныхъ проводовъ. Выше мы упомянули, что при выходѣ спускной трубы (главнаго провода сѣти) изъ резервуара мѣсто поступленія воды въ трубопроводъ должно быть расположено на 0,3 до 0,6 метр. выше дна резервуара, въ зависимости отъ ожидаемаго осажденія ила и грязи на днѣ резервуара. Если въ подобныхъ случаяхъ желаютъ утилизировать всю полезную емкость резервуара для водоснабженія, т. е. если желательно уменьшить разстояніе отъ выпускнаго отверстія до дна резервуара, то спускная труба помѣщается въ углубленіи, сдѣланномъ въ днѣ резервуара и допускающемъ расположеніе въ немъ трубы даже при нѣкоторомъ движеніи осѣвшаго ила. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ надъ впускнымъ отверстіемъ спускной трубы располагается еще отводный кранъ (большей частью такъ называемый колокольный вентиль), служащій для закрыванія трубы въ случаѣ исправленія расположенной въ задвижечной камерѣ задвижки, обыкновенно служащей для закрыванія трубы при чемъ нѣтъ необходимости въ опорожненіи резервуара. На каждой спускной трубѣ необходимо должно быть расположено приспособленіе для выпуска воздуха, при первоначальномъ пусканіи воды по спускной трубѣ (въ случаяхъ, показанныхъ на фиг. 315—317 и 329—331 для впуска воздуха служитъ стоякъ, а въ случаяхъ фиг. 318—323—воздушный вентиль на распредѣлительной коробкѣ).

Сливныя и спускныя приспособленія. При опредѣленіи высоты сливного отверстія надъ дномъ бака необходимо имѣть въ виду, что вода въ резервуарѣ должна подняться выше края сливного отверстія или края водослива. Если резервуаръ снабженъ мѣрительнымъ приспособленіемъ, какъ показано на фиг. 362, то съ другой стороны сливной уровень воды не можетъ подняться выше извѣстной высоты; оба эти условія опредѣляютъ собой ширину водослива, причемъ слѣдуетъ принять, что въ проходныхъ резервуарахъ все количество доставляемой воды проходитъ по водосливу. Соотвѣтственно этому опредѣляются также размѣры сливной и спускной (опорожнительной) трубъ. Послѣдняя никогда не должна быть сдѣлана меньше, нежели это опредѣляется предыдущими соображеніями; наоборотъ, по соображенію съ временемъ или продолжительностью опорожненія, или при условіяхъ, которыя будутъ указаны ниже (см. отд. IV, гл. 17), она даже можетъ быть больше. Здѣсь считаемъ необходимымъ замѣтить, что обыкновенно при спускѣ илиопорожненіи резервуаровъ, въ спускной трубѣ получается довольно большая скорость теченія, для которой не могутъ быть примѣнены ни цементныя, ни гончарныя трубы, такъ что для этой цѣли употребляются исключительно только чугунныя или желѣзныя трубы.

При резервуарахъ изъ двухъ частей постоянно оказывается весьма цѣлесообразнымъ устройство сливныхъ трубъ въ видѣ стояковъ или же расположеніе водослива у раздѣлительной стѣны, сосѣдней съ задвижечной камерой. Въ резервуарѣ изъ 4-хъ отдѣленій съ 2-мя пересѣкающимися раздѣлительными стѣнами сливныя отверстія или водосливы располагаются у пересѣченія раздѣлительныхъ стѣнъ, а воду отводятъ изъ нихъ по общей трубѣ.

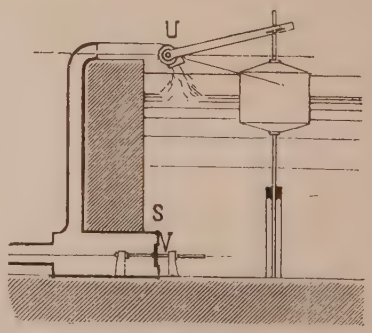
Автоматическое регулированіе притока и выпуска. Если нѣсколько расположеныхъ на различныхъ высотахъ резервуаровъ питается однимъ общимъ напорнымъ трубопроводомъ, то каждый изъ этихъ резервуаровъ послѣ его наполненія долженъ закрыться, такъ какъ въ противномъ случаѣ

поступающая по трубопроводу вода будетъ напрасно теряться черезъ сливъ нижняго резервуара. Подобныя приспособленія могутъ быть устроены различными способами. Если наполненіе резервуара производится по трубѣ, выпускное отверстіе котораго расположено выше уровня воды въ резервуарѣ, то можно рекомендовать примѣненіе показаннаго на фиг. 364 приспособленія, испытаннаго при резервуарѣ для водоснабженія Альба. Какъ видно изъ чертежа, здѣсь по достиженіи уровнемъ воды высоты сливного отверстія притокъ ея прекращается помощью крана, приводимаго въ дѣйствіе поплавкомъ, а при дальнѣйшемъ пониженіи уровня воды въ резервуарѣ притокъ опять открывается. Въ этомъ случаѣ выпускной трубопроводъ питается исключительно только изъ резервуара, т. е. каждая водопроводная распредѣлительная сѣть получаетъ этому трубопроводу исключительно только воду изъ резервуара. Въ случаѣ надобности можно образовать непосредственное соединеніе напорной трубы съ выпускной помощью задвижки или помощью обходнаго трубопровода, допускающаго изъятіе резервуара изъ сѣти въ случаѣ его чистки или исправленія.



Фиг. 364.

Если напорный трубопроводъ одновременно-же служитъ распредѣлительнымъ проводомъ, и если резервуаръ долженъ придти на помощь лишь тогда, когда высота напора въ напорномъ трубопроводѣ опускается ниже уровня воды въ резервуарѣ, то въ сѣть необходимо ввести обратный клапанъ, открывающійся внаружу, какъ это было показано выше на фиг. 174, гдѣ клапанъ обозначенъ буквой A. Вмѣсто клапана можно устроить такъ называемый поршневой затворъ (фиг. 365), состоящій изъ запорнаго диска или поршня, движущагося по горизонтальному направленію и прилегающаго къ сѣдлу *s*, какъ только наружное давленіе воды превышаетъ давленіе въ резервуарѣ, при чемъ наполненіе резервуара происходитъ по трубѣ *U* вышеуказаннымъ способомъ до уровня сливного отверстія.



Фиг. 365.

Встрѣчающіяся самодѣйствующія приспособленія различныхъ конструкцій для открыванія и закрыванія впуска по принципу своего устройства не отличаются отъ большинства подобныхъ приборовъ, примѣняемыхъ въ домовомъ водоснабженіи.

Въ напорныхъ трубопроводахъ, идущихъ отъ насосныхъ станцій, тоже необходимо должны быть установлены обратные клапаны, закрывающіеся тогда, когда давленіе, производимое водой резервуара дѣлается больше давленія въ напорной трубѣ.

Входныя лѣстницы и вентиляція. Выше мы уже указали, что входы для доступа къ резервуарамъ должны быть устроены по возможности просто, а при устройствѣ вентиляціи необходимо предупредить возможность засоренія извнѣ; особая внимательность въ этомъ отношеніи требуется при многоэтажныхъ резервуарахъ, какъ напр. на фиг. 344, въ которыхъ обыкновенно нижнее отдѣленіе не имѣетъ доступа снаружи, такъ что входъ въ него необходимо устроить сверху или черезъ особую шахту. Стѣнки шахты въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онѣ соприкасаются съ водой, должны быть устроены водонепроницаемыми; благодаря отверстіямъ, продѣлываемымъ въ шахтѣ выше уровня сливныхъ отверстій въ отдѣленіяхъ резервуара, она служитъ также и вентиляціонной шахтой. Входныя отверстія изъ этой шахты должны имѣть достаточные размѣры для доставленія по нимъ различныхъ матеріаловъ, требуемыхъ при ремонтѣ; Въ подобныхъ шахтахъ устанавливаются чугунныя винтовыя лѣстницы. Для вентиляціи слѣдуетъ устраивать приспособленія такого рода, чтобы выходящая наружу вытяжная труба присоединилась-бы къ камерѣ, отъ которой сбоку выходитъ труба, направляющаяся вовнутрь резервуара (ср. также фиг. 317); безъ подобнаго устройства не достигается полная безопасность отъ засореній извнѣ, по крайней мѣрѣ умышленныхъ.

Обозначеніе задвижекъ. Въ задвижечной камерѣ необходимо ясно обозначить назначеніе каждой задвижки (напр. дощечками съ надписями на стѣнахъ или надписями на ручныхъ маховичкахъ), такъ какъ даже у весьма опытныхъ приставленныхъ къ нимъ лицъ часто происходятъ ошибки, влекущія за собой весьма нежелательныя послѣдствія. Точно также совѣтуемъ отмѣчать на маховичкахъ задвижекъ направленіе вращенія при закрываніи и открываніи задвижки, хотя обыкновенно каждая задвижка или створный кранъ закрывается при вращеніи маховичка по направленію часовой стрѣлки.

Исправленія. Хорошо построенные изъ каменной кладки или бетона и опущенные въ землю резервуары обыкновенно требуютъ исправленія чрезвычайно рѣзко; но съ другой стороны тѣмъ чаще въ нихъ требуются исправленія, если они сдѣланы изъ дурныхъ матеріаловъ, а преимущественно если для оштукатурки примѣненъ дурного качества цементъ, который даетъ трещины. Подобный случай можетъ сильно вредить прочности бетоннаго резервуара, если не только для штукатурки, но и для составленія бетона, употребленъ дурныхъ качествъ цементъ. Въ каменныхъ резервуарахъ исправленія обыкновенно состоятъ въ обновленіи штукатурки на стѣнахъ и днѣ резервуара, а въ желѣзныхъ — въ новой окраскѣ резервуара; кромѣ того исправленія могутъ потребоваться также и въ соединенныхъ съ резервуаромъ машинныхъ частяхъ и проч. Если въ каменныхъ резервуарахъ начинаютъ обнаруживаться разслоенія, щели или трещины, то прежде всего необходимо тщательно изслѣдовать причины ихъ появленія для возможности ихъ устраненія; подобныя причины могутъ состоять въ осѣданіи фундаментовъ, деформаціи сводовъ и проч. Помимо приведенныхъ выше (см. отд. II, гл. 4) мѣръ предосторожности необходимо тщательно наблюдать, чтобы остающаяся и вновь наносимая штукатурка стѣнъ надлежащимъ образомъ связывались-бы между собой, что достигается обтеской и тщательной обмывкой оштукатуриваемыхъ стѣнъ, а также и наложеніемъ на трещины свинцовыхъ или резиновыхъ пластинъ, поверхъ которыхъ наносится слой штукатурки. Иногда мѣрой исправленія резервуара можетъ служить натягиваніе сѣтки

Монье. Исправленіе желѣзныхъ резервуаровъ по возможности должно быть предоставлено изготовившимъ ихъ заводамъ.

Стоимость устройства резервуаровъ. Стоимость резервуаровъ обыкновенно выражается стоимостью одного кубическаго метра помѣщающейся въ нихъ воды, опредѣляемой раздѣленіемъ полной стоимости резервуара (вмѣстѣ съ установленными въ немъ приспособленіями) на наибольшее число кубич. метровъ помѣщающейся въ немъ воды. Такимъ путемъ для каменныхъ или бетонныхъ опущенныхъ въ землю резервуаровъ незначительной емкости получаются гораздо бо́льшія числа, нежели для резервуаровъ крупныхъ; то-же самое относится и къ каменнымъ резервуарамъ на нижнихъ основаніяхъ, а также и до извѣстной степени и къ желѣзнымъ резервуарамъ.

Здѣсь считаемъ нелишнимъ привести нѣкоторыя числа, относящіяся до стоимости резервуаровъ[1]) въ различныхъ городахъ.

1. Опущенные въ землю каменные резервуары.

Лилль (12000) 11 марокъ; Штуттгартъ (9700) 26 марокъ; Куломье (1200) 30 марокъ; Женева (12500) 32 марки; Ларъ (700) 34 марки; Фрейбургъ (4000) 37 марокъ; Франкфуртъ на Майнѣ (20000) 46 марокъ; Баденъ-Баденъ (2000) 49 марокъ.

2. Опущенные въ землю бетонные резервуары.

Висбаденъ (4300) 12 марокъ; Гамптонъ въ Англіи (12500) 13 марокъ; Хемницъ (4000) 19 марокъ; Минденъ (900) 19 марокъ; Ньюренбергъ (8100) 24 марки; Линцъ (270) 25 марокъ; Ашаффенбургъ (1000) 33 марки. Необходимо замѣтить, что въ приведенныхъ числахъ не включено стоимости земляныхъ работъ и машинныхъ частей, такъ что онѣ должны быть нѣсколько увеличены.

3. Подземные (туннельные) резервуары.

Въ этихъ резервуарахъ главную стоимость составляетъ прохожденіе сквозь профиль породы и обусловливается свойствами послѣдней. Стоимость выемки одного кубич. метра въ зависимости отъ твердости породы колеблется между 5 и 25 марками (2,5 — 12,5 руб.), откуда очевидно, что подземный или туннельный резервуаръ въ весьма твердой породѣ далеко не отвѣчаетъ условіямъ наименьшей стоимости. Туннельный резервуаръ въ Civita Lavinia емкостью въ 216 куб. метр. стоилъ по 40 марокъ на 1 куб. метръ его емкости.

4. Свободно стоящіе каменные резервуары.

Ганноверъ (11000) 62 марки.

5. Каменные резервуары на нижнихъ основаніяхъ.

Парижъ, Монмартръ (11000) 73 марки; Римъ, Фіумидино (150) 160 марокъ; Римъ, Эсквилино (1000) 232 марки.

6. Желѣзные резервары на нижнихъ основаніяхъ.

Стоимость этихъ резервуаровъ приведена въ слѣдующей таблицѣ:

---

[1]) Числа въ скобкахъ означаютъ наибольшую емкость резервуаровъ въ кубическихъ метрахъ.

Мѣсто и обозначеніе водонапорной башни.	Емкость резервуара въ куб. метр.	Высота опоры надъ землей въ метрахъ	Собственный вѣсъ резервуара вмѣстѣ съ опорнымъ кольцомъ килогр.	Вѣсъ резервуара на 1 куб. метръ емкости въ килогр.	Полная стоимость водонапорной башни въ маркахъ.	Стоимость водонапорной башни на 1 куб. метръ емкости въ маркахъ.
A. Резервуары съ провисающимъ дномъ и наружнымъ опорнымъ кольцомъ.						
Мюльгеймъ на Рейнѣ (безъ облицовочныхъ стѣнъ)	584	27,0	43000	74	49400	85
Мюнхенъ-Гладбахъ	600	31,0	50000	83	66000	110
Галле (весьма изящно сдѣланный)	1200	11,0	66100	55	150000	125
Эссенъ (весьма изящно сдѣланный)	2000	20,0	96000	48	180000	90
B. Резервуары по системѣ Инца съ поддерживающими доньями.						
Рамшейдъ (изящная отдѣлка башни)	400	11,0	18000	45	38000	95
Диденгофенъ (въ видѣ двойной башни съ изящной отдѣлкой).	500	25,0	22000	45	40000	80
Дюренъ (изящно отдѣланный) .	550	40,0	24000	44	60000	109
Водонапорная башня солеварни Неу-Стассфуртъ съ деревянной облицовкой	600	8,0	28000	47	24000	40
Бремергафенъ	660	18,5	29000	44	50000	75
C. Разные резервуары.						
Парижъ, Монмартръ	1200	7,0	—	—	56000	47
Вормсъ } съ богатой . . .	1200	45,0	—	—	264000	176
Маннгеймъ } отдѣлкой . . .	2000	27,0	—	—	450000	225

Весьма большое вліяніе на стоимость резервуара имѣетъ его расположеніе. При удобныхъ путяхъ сообщенія и дешевыхъ строительныхъ матеріалахъ стоимость 1 куб. метра емкости резервуара, какъ опущеннаго въ землю, такъ и свободно стоящаго, при самомъ даже тщательномъ выполненіи, рѣдко превышаетъ 30 до 40 марокъ (15-20 рублей), если только при устройствѣ не допущено никакихъ излишнихъ архитектурныхъ отдѣлокъ и украшеній. Если мѣсто постройки трудно доступно, то стоимость повышается до весьма значительныхъ размѣровъ, которые даже не могутъ быть предвидимы впередъ. При свободно стоящихъ резервуарахъ съ архитектурной отдѣлкой стоимость бываетъ на 10

до 20% больше, нежели для опущенныхъ въ землю резервуаровъ, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ. При каменныхъ резервуарахъ стоимость можетъ быть опредѣлена только по точнымъ ихъ чертежамъ, точно также, какъ и при водонапорныхъ башняхъ съ желѣзными резервуарами.

Обыкновенно мѣсто для постройки резервуара бываетъ расположено въ сторонѣ и на возвышенной мѣстности, вслѣдствіе чего, для избѣжанія ошибокъ при опредѣленіи стоимости сооруженія, необходимо къ мѣстнымъ цѣнамъ каменной кладки, бетона и проч., прибавить значительную стоимость перевозки. Ввиду необходимаго условія примѣненія для постройки резервуаровъ матеріаловъ высшихъ качествъ предварительная расцѣнка должна быть сдѣлана съ нѣкоторой надбавкой. Единственная возможность сбереженія стоимости состоитъ въ сбереженіи на архитектурной отдѣлкѣ.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ еще разъ здѣсь замѣтить, что обвалы или вообще разрушенія резервуаровъ имѣютъ подобныя же печальныя послѣдствія, какъ было упомянуто выше (см. отд. II, гл. 2).

7. Раздѣленіе снабжаемой мѣстности на различные пояса.

Выше (см. отд. II, гл. 9) мы подробно указали на тѣ основанія, въ силу которыхъ вмѣсто единичнаго водоснабженія, преимущественно въ большихъ городахъ, устраивается комбинація различныхъ водоснабженій для отдѣльныхъ областей или поясовъ.

Если снабжаемая область расположена въ мѣстности съ различными высотами надъ уровнемъ моря, т. е. если разность между высшей точкой, на которую вода должна быть поднята, и наиболѣе низкимъ ея истокомъ весьма значительна, то при устройствѣ насосныхъ станцій прежде всего можетъ явиться вопросъ: выгоднѣе-ли въ экономическомъ отношеніи подымать всю воду на наибольшую высоту, или только часть ея?

Второй вопросъ, который можетъ явиться при одинаковыхъ обстоятельствахъ, какъ для водоснабженій съ естественнымъ напоромъ, такъ и для водоснабженій съ искусственнымъ поднятіемъ воды, и который касается раздѣленія снабжаемой области на пояса съ различными напорами, состоитъ въ томъ: какое наибольшее давленіе можетъ быть допущено въ распредѣлительныхъ трубопроводахъ?

Наконецъ необходимо имѣть въ виду, что во всѣхъ гористыхъ мѣстностяхъ расположенныя на большей высотѣ части города застраиваются позже, нежели расположенные въ низменныхъ мѣстностяхъ участки, для которыхъ обыкновенно первоначально и устраивается водоснабженіе, такъ что съ теченіемъ времени само собой является необходимость раздѣлить снабжаемую мѣстность на области съ различными напорами, если не желаютъ впослѣдствіи измѣнить существующее водоснабженіе.

Первый изъ этихъ вопросовъ по необходимости ведетъ къ сравнительному исчисленію стоимости. Работа, сберегаемая въ насосной станціи отъ поднятія воды, назначенной для выше расположенныхъ участковъ отдѣльно отъ назначенной для водоснабженія низменныхъ мѣстностей, опредѣляется весьма легко.

Если черезъ Q обозначимъ все количество воды (въ литрахъ), подымаемой въ 1 секунду втеченіе работы насосовъ, черезъ q_1 — количество воды, тре-

буемой для пояса высокаго давленія, черезъ q_2—количество воды, требуемой для пояса низкаго давленія, и если h_1 означаетъ теоретическую высоту подъема (ср. цр. 4, гл. 2) воды для пояса высокаго давленія, а h_2—теоретическую высоту подъема воды для пояса низкаго давленія, то чистая полезная работа въ лошад. силахъ, которую должны развивать водоподъемныя машины при единичномъ водоснабженіи, будетъ $= \frac{Qh_1}{75}$, между тѣмъ какъ при раздѣленіи снабжаемой области на пояса эта работа должна быть $= \frac{q_1 h_1 + q_2 h_2}{75}$. Такимъ образомъ сбереженіе работы въ килограмометрахъ составитъ $q_2(h_1 - h_2)$, а полезная работа машинъ будетъ меньше на $\frac{q_2(h_1 - h_2)}{75}$ лошад. силъ. При вычисленіи сбереженія отъ уменьшенія работы водоподъемныхъ машинъ рѣшающее значеніе прежде всего будетъ имѣть стоимость двигательной силы.

Если въ нашемъ распоряженіи имѣется водяная сила, достаточная для поднятія всего количества воды на высоту h_1, то весьма естественно будетъ отказаться отъ раздѣленія на пояса, если это не вызывается какими либо другими причинами. При примѣненіи-же паровой силы условія бываютъ иныя. Допустимъ, напр., что мы имѣемъ дѣло съ городскимъ водоснабженіемъ, для котораго при 12-ти часовой работѣ въ среднемъ требуется доставлять въ секунду 240 литр. воды, изъ которыхъ двѣ трети расходуются въ низменной части города при $h_2 = 25$ метр., а одна треть расходуется въ гористой части города, гдѣ $h_1 = 60$ метр; тогда разность работъ a въ секунду составитъ

$$a = \frac{2.240}{3}(60-25) = 5600 \text{ килогр.-метр.}$$

или въ кругл. числахъ 75 лошад. силъ. Если принять расходъ угля въ часъ на лошад. силу 1,5 килогр. и стоимость по 1 коп. за килограмъ (около 16 коп. пудъ), то при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ получится годовое сбереженіе въ рубляхъ $= 0{,}01 . 1{,}5 . 75 . 12 . 365 =$ 4977 руб. 50 коп. При обратныхъ условіяхъ, т. е. если при тѣхъ-же h_1 и h_2 низменная часть расходуетъ только одну треть, а гористая — двѣ трети всего количества доставляемой воды, годовое сбереженіе составитъ только половину вычисленнаго, т. е. около 2950 рублей. Если девять десятыхъ расходуется въ низменной части города, а только одна десятая въ гористой части, то $a = 0{,}9 . 240 (60-25) = 7560$ килограмо-метр. или въ круглыхъ числахъ $= 100$ лошад. сил., и годовое сбереженіе, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, составитъ $0{,}01 . 1{,}5 . 100 . 12 . 365 . = 6570$ рублей, и т. д. Отсюда мы видимъ, что чѣмъ меньше бываетъ требуемое для высокой области количество воды въ сравненіи со всѣмъ расходомъ ея, тѣмъ выгоднѣе въ отношеніи расхода угля раздѣленіе снабжаемой области на пояса, и обратно.

Затѣмъ необходимо имѣть въ виду, что раздѣленіе распредѣлительной сѣти на пояса обусловливаетъ собой проведеніе двухъ водовпускныхъ трубъ вмѣсто одной, и что обыкновенно также требуется устроить двѣ отдѣльныхъ машинныхъ станціи, такъ какъ весьма невыгодно и даже не у всѣхъ системъ машинъ возможно допускать значительныя измѣненія давленій за поршнемъ. Такимъ образомъ уже эти приведенныя обстоятельства влекутъ за собой излишній расходъ. Кромѣ того при раздѣленіи снабжаемой мѣстности на пояса оказывается необходимымъ устроить два напорныхъ резервуара и на различныхъ протяженіяхъ сѣти проводить двойныя водопроводныя трубы съ соединительными задвижками для возможности питанія низшаго пояса высшимъ въ случаѣ надобности.

Всѣ эти обстоятельства совмѣстно съ несомнѣнными затрудненіями въ работѣ при двухъ сѣтяхъ, связанныхъ между собой въ различныхъ мѣстахъ, но вообще отдѣльныхъ другъ отъ друга, возможность ошибокъ и вредныхъ ихъ послѣдствій и проч. заставляютъ насъ подробно и тщательно взвѣшивать, не уничтожатся-ли пріобрѣтаемыя при раздѣленіи области на пояса выгоды отъ уменьшенія расхода угля являющимися излишними затратами другого рода. Уже

Дюпюи обратилъ вниманіе инженеровъ на это обстоятельство и совершенно справедливо замѣтилъ, что выгоды отъ раздѣленія сѣти обыкновенно на первый взглядъ кажутся гораздо значительнѣе, нежели онѣ оказываются на самомъ дѣлѣ при взвѣшиваніи всѣхъ обстоятельствъ дѣла, и что недостаточное изученіе этого вопроса влечетъ къ весьма горькимъ разочарованіямъ. Такимъ образомъ при вовыхъ сооруженіяхъ для опредѣленныхъ раіоновъ дѣйствія и при возможности раздѣленія снабжаемой области на отдѣльные пояса вслѣдствіе расположенія ихъ на различныхъ высотахъ, взвѣшивая всѣ побочныя обстоятельства, не всегда безусловно уклоняются отъ единичной системы водоснабженія.

Въ большинствѣ случаевъ рѣшающее значеніе при раздѣленіи снабжаемой области на отдѣльные пояса имѣетъ предѣлъ прочности водопроводныхъ трубъ въ наиболѣе пониженномъ поясѣ, а это обстоятельство служитъ для разрѣшенія второго изъ поставленныхъ вопросовъ. Выше мы замѣтили, что устройство трубопроводовъ, сдѣланныхъ изъ нормальныхъ трубъ, при діаметрѣ въ 500 миллим. и давленіи выше 8 атмосф. требуетъ особыхъ мѣръ предосторожности въ отношеніи заливки стыковъ, подкладокъ подъ трубы и т. д. Поэтому во всѣхъ трубопроводахъ, состоящихъ изъ подобныхъ широкихъ трубъ, давленіе ограничиваютъ высотой въ 80 метр., вслѣдствіе чего снабжаемыя области нижняго пояса необходимо отдѣляются отъ областей пояса съ большимъ напоромъ (или верхняго) воображаемой горизонтальной плоскостью, расположенной приблизительно на 50 метр. надъ наиболѣе низкой областью. Если, наоборотъ-діаметръ трубопроводовъ составляетъ 200 или менѣе миллиметр., то, какъ показалъ опытъ, въ немъ совершенно безопасно можетъ быть допущенъ напоръ въ 10—12 атмосферъ. Такимъ образомъ въ подобныхъ случаяхъ, если давленіе въ трубопроводѣ при единичномъ водоснабженіи не превышаетъ 12 атмосферъ, можно не прибѣгать къ раздѣленію снабжаемой области на пояса [1]).

Если при водоснабженіи съ естественнымъ напоромъ имѣется достаточное давленіе въ трубопроводѣ, и снабжаемая область ввиду приведенныхъ соображеній должна быть раздѣлено по высотѣ на два пояса, то вода, сливающаяся изъ напорнаго резервуара верхняго пояса, проводится къ резервуару нижняго пояса. Этимъ достигается значительное сбереженіе воды, которое имѣетъ весьма важное значеніе при ключевомъ водоснабженіи.

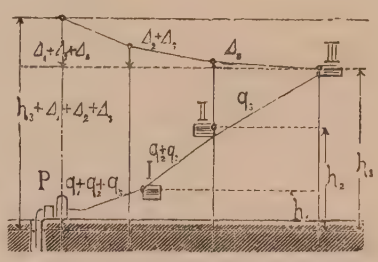
Дальнѣйшимъ поводомъ къ раздѣленію снабжаемой области на пояса съ различными напорами служитъ постепенное заселеніе мѣстности, окружающей данную снабжаемую область. Если во время устройства водопровода не было даже и вѣроятности предположенія объ образованіи высоко расположенной части города, и по меньшей мѣрѣ не было никакихъ поводовъ предварительно принять въ соображеніе подобную вѣроятность, то впослѣдствіи благопріятныя условія постройки и развитіе благосостоянія населенія поведутъ къ заселенію этихъ областей и устройству въ нихъ дачъ, въ которыхъ сначала довольствуются собственнымъ частнымъ водоснабженіемъ. По мѣрѣ увеличенія числа зданій потребность общественнаго водоснабженія выступаетъ все рѣзче и рѣзче, являясь обязанностью общины. Въ подобныхъ случаяхъ, естественно, не измѣняютъ существующаго сооруженія, а только дополняютъ общее водоснабженіе добавленіемъ отдѣльнаго пояса съ болѣе значительнымъ напоромъ воды въ сѣти.

Впрочемъ раздѣленіе снабжаемой области на отдѣльные пояса можетъ быть вызвано и другими соображеніями независимо отъ высоты снабжаемой области:

[1]) Это оказалось достижимымъ при водоснабженіи Баденъ-Бадена.

такъ, напр., оно можетъ быть вызвано расположеніемъ источниковъ добыванія воды, т. е. возможностью примѣненія воды различныхъ качествъ, или-же желаніемъ обезпечить правильное дѣйствіе водоснабженія устройствомъ нѣсколькихъ независимыхъ другъ отъ друга сѣтей въ томъ совершенно правильномъ предположеніи, что нѣсколько сѣтей въ рѣдкихъ случаяхъ могутъ испортиться одновременно. Главнымъ образомъ при водоснабженіи сравнительно небольшихъ отдѣльныхъ группъ, напр. въ деревняхъ, обыкновенно устраиваютъ расположенные на различныхъ высотахъ резервуары, питаемые общимъ напорнымъ трубопроводомъ, и распредѣлительныя сѣти снабжаются водой изъ соотвѣтствующаго резервуара. Такимъ образомъ получается рядъ отдѣльныхъ самостоятельныхъ поясовъ. Эта система, примѣненная при Вюртенбергскомъ водоснабженіи изъ Альба, имѣетъ своей цѣлью, какъ выше было указано, исключительно только надежность дѣйствія сооруженія.

Техническія сооруженія должны удовлетворять спеціальнымъ условіямъ, имѣющимъ мѣсто въ каждомъ данномъ случаѣ. Для избѣжанія ошибокъ въ сравнительныхъ исчисленіяхъ при искусственномъ подыманіи воды считаемъ здѣсь нелишнимъ замѣтить, что при нѣсколькихъ, питаемыхъ однимъ общимъ трубопроводомъ, резервуарахъ нельзя, напр., принять, что доставляемыя въ отдѣльные резервуары количества воды должны быть подняты только до свободныхъ уровней этихъ резервуаровъ. Въ случаѣ, напр., изображенномъ на фиг. 366, водоподъемныя машины должны поднять количество воды $q_1^3 + q_2 + q_3$ на полную высоту h_3 плюсъ потери высотъ напора, получаемыя при поднятіи количества воды $q_1 + q_2 + q_3$ отъ P до I, количества $q_2 + q_3$ отъ I до II и количества q_3 отъ II до III, причемъ сюда необходимо еще прибавить особыя потери отъ вступленія воды во всасывающій трубопроводъ, и проч.; слѣд. работа машины составляетъ $(q_1 + q_2 + q_3)(h_3 + \triangle_1 + \triangle_2 + \triangle_3)$, гдѣ $\triangle_1, \triangle_2, \triangle_3$ обозначаютъ поименованныя выше потери. Если-же отъ насосной станціи къ пунктамъ I, II и III ведутъ отдѣльные трубопроводы, то производительность водоподъемныхъ машинъ будетъ $q_1(h_1 + \delta_1) + q_2(h_2 + \delta_2) + q_3(h_3 + \delta_3)$, гдѣ δ_1, δ_2 и δ_3 обозначаютъ вышепоименованныя потери напора на отдѣльныхъ участкахъ.



Фиг. 366.

Отдѣльные проводы, сѣти трубъ и проч. для различныхъ поясовъ вычисляются такъ, какъ было нами указано выше, и какъ будетъ подробно изложено въ слѣдующей главѣ относительно отдѣльныхъ трубопроводовъ.

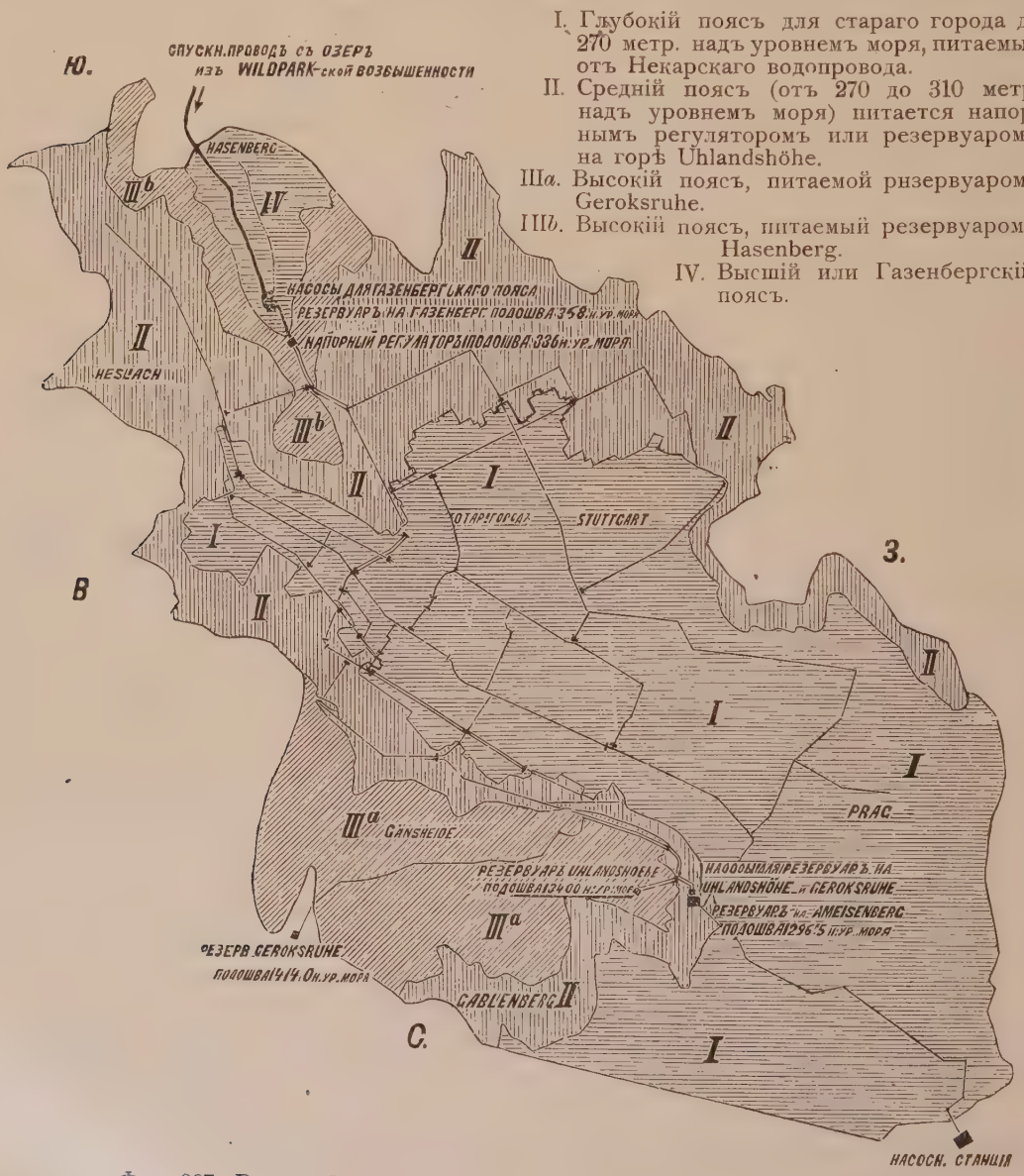
Участки водоснабженія, расположенные на ровныхъ мѣстностяхъ, обыкновенно довольно рѣдко дѣлятся на отдѣльные пояса, а если подобное подраздѣленіе иногда и встрѣчается, то причина этого безъ исключенія кроется въ существованіи различныхъ источниковъ добыванія воды или различныхъ водопроводныхъ обществъ для снабженія отдѣльныхъ округовъ или поясовъ даннаго участка. Если снабжаемый участокъ расположенъ въ гористой или холмистой мѣстности, то чаще встрѣчаемъ раздѣленіе его на пояса съ различными напорами. Между весьма большими городами примѣромъ перваго рода водоснабженія можетъ служить городъ Берлинъ, а примѣромъ второго рода можетъ служить Лондонъ, а прежде всего Парижъ. Кромѣ того раздѣленіе водопроводныхъ сѣтей на различные пояса мы видимъ въ водопроводахъ Касселя, Женевы, Штутгарта, Цюриха, Генуи, Ліона, Лилля, Марселя, Ливерпуля, Манчестера и друг., а главнымъ образомъ оно часто встрѣчается въ различныхъ американскихъ городахъ, гдѣ для водораспредѣленія или регулированія напора примѣняются стояки различныхъ высотъ.

Въ Парижѣ существуетъ двойное водоснабженіе, въ которомъ питьевая вода и вода для различныхъ другихъ надобностей распредѣляются по отдѣльнымъ другъ отъ друга сѣтямъ, кромѣ того водопроводъ питьевой воды имѣетъ 3 пояса различныхъ высотъ (Dhuis, Vanne; Vigne), а водопроводъ для различныхъ надобностей тоже раздѣленъ на 3 пояса (Seine, Marne, Qurcq), независимо отъ водоснабженій артезіанскими колодцами и проч.

Лондонъ снабжается водой 8-ю различными водопроводными Обществами, изъ которыхъ каждое имѣетъ свой поясъ водоснабженія.

Города Цюрихъ и Женева имѣютъ по одному напорному поясу водоснабженія для промышленныхъ цѣлей (распредѣленія силы), независимо отъ различныхъ поясовъ водоснабженія для питья и другихъ хозяйственныхъ надобностей.

Въ Штутгартѣ, помимо городского водоснабженія для хозяйственныхъ цѣлей, существуетъ еще ключевое водоснабженіе, а также и общественный водопроводъ изъ рѣчки Некаръ. Городское водоснабженіе для хозяйственныхъ цѣлей раздѣлено на нѣсколько поя-


I. Глубокій поясъ для стараго города до 270 метр. надъ уровнемъ моря, питаемый отъ Некарскаго водопровода.
II. Средній поясъ (отъ 270 до 310 метр. надъ уровнемъ моря) питается напорнымъ регуляторомъ или резервуаромъ на горѣ Uhlandshöhe.
IIIa. Высокій поясъ, питаемой рнзервуаромъ Geroksruhe.
IIIb. Высокій поясъ, питаемый резервуаромъ Hasenberg.
IV. Высшій или Газенбергскій поясъ.
Ю.
СПУСКН.ПРОВОДЪ СЪ ОЗЕРЪ
ИЗЪ WILDPARK-СКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
HASENBERG
НАСОСЫ ДЛЯ ГАЗЕНБЕРГСКАГО ПОЯСА
РЕЗЕРВУАРЪ НА ГАЗЕНБЕРГ. ПОДОШВА 358 М. УР. МОРЯ
НАПОРНЫЙ РЕГУЛЯТОРЪ ПОДОШВА 336 М. УР. МОРЯ
HESLACH
ОТАР. ГОРОДЪ
STUTTGART
З.
В
PRAG
GANSHEIDE
РЕЗЕРВУАРЪ UHLANDSHÖHE
ПОДОШВА 12400 М. УР. МОРЯ
НАСОСНЫЯ РЕЗЕРВУАРЪ НА UHLANDSHÖHE И GEROKSRUHE
РЕЗЕРВУАРЪ НА AMEISENBERG
ПОДОШВА 12967,5 М. УР. МОРЯ
РЕЗЕРВ. GEROKSRUHE
ПОДОШВА 414,0 М. УР. МОРЯ
GABLENBERG
С.
НАСОСН. СТАНЦІЯ

Фиг. 367. Распредѣленіе поясовъ въ Штутгардтскомъ водопроводѣ.

совъ, изъ которыхъ три существовали раньше, а остальные развивались впослѣдствіи. На фиг. 367 изображены эти различные пояса. Первые 3 пояса были обусловлены требованіемъ

о недопущеніи въ сѣти давленія выше 8 атмосферъ; первый изъ этихъ поясовъ снабжается водой отъ насосной станціи при Бергѣ, а второй и третій пояса снабжаются водой отъ регулятора напора для озерного водоснабженія. Они обнимаютъ обозначенную I область стараго города и обозначенную черезъ II область западной части города. Геслахъ. Четвертый поясъ въ восточной части города снабжается помощью отдѣльной насосной станціи отъ напорнаго резервуара горы Амейзенъ. Этотъ поясъ по высотѣ соотвѣтствуетъ приблизительно поясу II, питаемому отъ регулятора подъ напорнымъ резервуаромъ на горѣ Газенъ, и поэтому на приложенномъ планѣ тоже обозначенъ чрезъ II. Непосредственно отъ резервуара на горѣ Газенъ имѣется поясъ III *b* въ западной части города. Наконецъ съ восточной и западной стороны существуютъ еще 2 меньшихъ насосныхъ станціи, изъ которыхъ первая накачиваетъ воду въ резервуаръ на Героксруэ для пояса III *a*, а второй—въ охотничій замокъ Газенбергъ (поясъ IV). Трубопроводъ перваго пояса, а также и трубопроводъ второго пояса, захватывающіе оба пояса, для различія другъ отъ друга обозначены на прилагаемомъ планѣ пунктирными и сплошными линіями, на которыхъ поперечными черточками обозначены створныя приспособленія, такъ что по этому плану легко себѣ представить взаимное дѣйствіе обѣихъ этихъ сѣтей.

Пояса III и IV, а также и поясъ II въ восточной части города образовались только послѣ окончанія устройства водоснабженія изъ Некара или озернаго водоснабженія, т. е. оказались необходимы при постепенномъ заселеніи прилегающей мѣстности. Впослѣдствіи можно ожидать образованія еще пояса V.

При измѣненіи существующихъ сооруженій или при добавленіи новыхъ напорныхъ поясовъ необходимо обезпечить вполнѣ достаточное вертикальное разстояніе уровней воды въ поясныхъ бакахъ, такъ какъ заселеніе горныхъ склоновъ, при полной обезпеченности водоснабженія, какъ показалъ опытъ, происходитъ весьма быстро; въ гористыхъ мѣстностяхъ, при сѣтяхъ значительныхъ діаметровъ, вертикальное наивыгоднѣйшее разстояніе уровней воды въ бакахъ лежитъ между 50 и 80 метр. При трубахъ меньшихъ размѣровъ это разстояніе можетъ быть больше. При слишкомъ маломъ разстояніи уровней воды въ бакахъ число поясовъ съ теченіемъ времени сильно увеличивается, вызывая этимъ значительныя неудобства.

Необходимо всегда имѣть въ виду, что обезпеченное водоснабженіе выше расположенныхъ поясовъ путемъ достаточно вмѣстительныхъ резервуаровъ и пр. имѣетъ весьма важное значеніе, такъ какъ наивыше расположенный поясъ снабжаемаго участка не имѣетъ другого источника водоснабженія, кромѣ соотвѣтствующаго ему бака, между тѣмъ какъ всякій ниже расположенный поясъ въ случаѣ необходимости можетъ снабжаться водой изъ выше лежащаго резервуара. Само собой разумѣется, что соединительныя вѣтви, устроенныя для этой цѣли между главными трубопроводами различныхъ поясовъ, при нормальныхъ обстоятельствахъ должны оставаться замкнутыми. Для повѣрки подобнаго состоянія сѣти на соединительной вѣткѣ устанавливаются 2 створныхъ крана, между которыми расположена выходящая на дневную поверхность сливная труба; если по этой трубѣ вода не идетъ, то это служитъ признакомъ что соединительная вѣтка замкнута, и обратно.

Если водоснабженіе производится съ искусственнымъ подыманіемъ воды, то насосныя станціи располагаются уступами, т. е. вода изъ резервуара ниже лежащаго пояса подымается въ резервуаръ выше лежащаго, и т. д.; водоснабженіе всѣхъ поясовъ изъ одной машинной станціи встрѣчается весьма рѣдко. Въ послѣднемъ случаѣ вышеприведенныя вычисленія работы по соображенію съ наименьшей стоимостью почти безъ исключенія всегда приведутъ къ установкѣ въ общемъ машинномъ помѣщеніи отдѣльныхъ насосовъ для доставленія воды къ различнымъ поясамъ.

Если резервуары отдѣльныхъ поясовъ расположены недалеко другъ отъ друга, то можетъ оказаться цѣлесообразнымъ проводить сливныя трубы выше расположенныхъ резервуаровъ въ резервуары ниже расположенныхъ поясовъ; въ противномъ-же случаѣ довольствуются тѣмъ, что останавливаютъ соотвѣтствующій насосъ по достиженіи водой въ резервуарѣ сливного уровня, указываемаго водомѣрами, и опять пускаютъ его въ дѣйствіе при пониженіи уровня воды въ резервуарѣ до извѣстнаго предѣла.

8. Распредѣленіе воды по снабжаемой области.

Назначенная для водоснабженія извѣстной области вода можетъ быть распредѣлена двумя способами:

А. Помощью соединенныхъ между собой трубъ (трубными сѣтями, круговой системой, циркуляціонной системой трубъ и проч.).

В. Помощью трубъ, отвѣтвляющихся отъ одной главной трубы или магистрали (по системѣ отвѣтвленій).

Послѣдній способъ примѣняется преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда на концахъ отдѣльныхъ вѣтвей расположены разборные краны или колодцы постояннаго дѣйствія, такъ что застаиваніе въ нихъ воды, или такъ называемые мертвые концы, совершенно устранено, такъ какъ вода течетъ по трубамъ постоянно въ одинаковомъ направленіи. При круговой системѣ, наоборотъ, трубы образуютъ собой сѣть, и вода можетъ по нимъ двигаться въ различныхъ направленіяхъ; всякое заимствованіе изъ трубы приводитъ въ движеніе воду по всей сѣти, такъ что, вслѣдствіе существованія постояннаго расхода, вода въ ней никогда не находится въ состояніи покоя. Вслѣдствіе взаимнаго соединенія всѣхъ трубъ сѣти, расходъ воды въ какомъ-либо мѣстѣ сѣти можетъ пополняться двумя или нѣсколькими трубами, чѣмъ значительно уменьшаются потери напора отъ тренія, т. е. при одинаковой потерѣ напора и одинаковомъ діаметрѣ трубъ расходъ воды при этой системѣ можетъ быть гораздо значительнѣе, нежели при непосредственномъ притокѣ воды къ мѣсту расхода. Главное преимущество системы сѣтей относительно системы отвѣтвленій состоитъ, наконецъ, въ томъ, что въ послѣдней системѣ всякій перерывъ дѣйствія главной трубы влечетъ за собой прекращеніе дѣйствія всѣхъ идущихъ отъ нея отвѣтвленій, между тѣмъ какъ при круговой системѣ (система сѣтей) всякій отдѣльный участокъ можетъ быть выведенъ изъ сѣти безъ нарушенія водоснабженія другихъ участковъ.

Опредѣленіе размѣровъ распредѣлительныхъ трубопроводовъ производится по точномъ опредѣленіи назначенія каждаго опредѣленнаго провода; при этомъ необходимо принять во вниманіе главнымъ образомъ двѣ функціи: проводъ долженъ по пути равномѣрно расходовать въ различныхъ мѣстахъ или въ одномъ мѣстѣ нѣкоторое опредѣленное количество воды, а другое количество ея онъ долженъ провести до конца сѣти. Общій ходъ вычисленій приведенъ нами ниже (см. отд. IV глава 16).

При опредѣленіи дѣйствія и назначенія отдѣльныхъ трубопроводовъ обыкновенно принимаютъ въ соображеніе не только настоящее, но до нѣкоторой степени и будущія требованія. Если имѣются достаточныя основанія предвидѣть увеличеніе расхода воды по извѣстному опредѣленному закону, то легко пред-

варительно опредѣлить предѣлы, въ которыхъ должно оставаться первоначальное сооруженіе при раціональномъ веденіи водяного хозяйства. Нѣкоторыя относящіяся къ этому предмету свѣдѣнія приведены нами выше (см. отд. III, гл. 1)!

Выше (см. гл. 1) мы указали также на разницу между *постояннымъ* и *перемежающимся водоснабженіемъ*. Для вычисленія размѣра трубопровода тотъ или другой способъ водоснабженія имѣютъ одинаковое значеніе, такъ какъ при этомъ принимается во вниманіе только моментъ наибольшаго расхода. На размѣръ (діаметръ) трубъ вліяетъ не тотъ или другой способъ водоснабженія, а только количество доставляемой въ 1 секунду воды во время наибольшаго ея расхода. Такимъ образомъ если мы ниже будемъ говорить о наибольшемъ часовомъ расходѣ воды въ день наибольшаго потребленія, то этотъ расходъ можетъ считаться одинаковымъ, какъ для постояннаго, такъ и для перемежающагося водоснабженія; въ обоихъ случаяхъ онъ одинаково выражается наибольшимъ числомъ литровъ воды въ секунду, доставляемой распредѣлительными трубопроводами втеченіе извѣстнаго времени. Тѣмъ не менѣе приводимые нами примѣры будутъ относиться къ постоянному водоснабженію, такъ какъ перемежающееся водоснабженіе въ практикѣ встрѣчается весьма рѣдко.

При составленіи проекта сѣти трубъ для городского водоснабженія руководствуются планомъ города, заключающимъ въ себѣ также и ожидаемыя втеченіе ближайшихъ 10—20 лѣтъ расширенія города. На этомъ планѣ надписываютъ наибольшій расходъ въ отдѣльныхъ застроенныхъ участкахъ, принимая при этомъ во вниманіе жилыя помѣщенія, а также и потребности отдѣльныхъ мѣстъ потребленія (фонтановъ, фабрикъ и проч.). Общія правила для опредѣленія наибольшаго расхода не могутъ быть даны; онъ обусловливается особенностями всякаго даннаго города. Обыкновенно (см. гл. 1) принимаютъ на каждую квадратную единицу застроенной площади извѣстный наибольшій расходъ соотвѣтственно густотѣ населенія и его зажиточности. Такъ какъ размѣръ снабжаемой области справа и слѣва отъ оси какого-либо участка опредѣляется предѣлами частныхъ владѣній, то въ этихъ случаяхъ *легко* отнести расходъ къ единицѣ длины протяженія улицы, а при вычисленіяхъ этотъ расходъ обыкновенно принимается равномѣрно распредѣленнымъ по всей длинѣ трубопровода. Отдѣльныя мѣста расхода требуютъ особыхъ соображеній. Расширеніе города въ отдаленномъ будущемъ принимается въ разсчетъ лишь въ томъ случаѣ, когда оказывается возможнымъ безъ особыхъ излишнихъ затратъ произвести питаніе укладываемыхъ въ разное время и въ различныхъ мѣстахъ сѣтей изъ одного общаго источника. Если-же подобное питаніе въ отдаленномъ будущемъ оказывается невозможнымъ, то всегда удобнѣе отказаться отъ тѣхъ работъ, которыя назначены для вѣроятнаго использованія втеченіе ближайшихъ 10—20 лѣтъ. Вообще установленіе какихъ-либо общихъ правилъ по этому предмету невозможно. Здѣсь считаемъ нелишнимъ еще разъ замѣтить, что заключеніе объ увеличеніи расхода по наблюденному за нѣкоторое истекшее время приросту населенія часто влечетъ за собой крупныя ошибки и иногда вызываетъ совершенно безполезныя излишнія траты. Безъ тщательнаго изученія особенностей снабжаемой области и его окрестностей подобныя комбинаціи представляютъ собой покрытыя научной навѣсой неправдоподобныя иллюзіи.

При устройствѣ крупныхъ городскихъ водоснабженій обыкновенно весьма желательно, чтобы на общественныхъ вѣткахъ уличныхъ трубъ на извѣстныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ были бы расположены гидранты, которые во время пожаровъ могли-бы доставлять по меньшей мѣрѣ по 5—10 литр. воды въ секунду. Съ этимъ требованіемъ, для избѣжанія ударовъ въ трубахъ, обыкновенно связываютъ условіе, чтобы скорость воды въ водопроводныхъ трубахъ не превышала 1 метр. въ секунду. Поэтому въ сѣтяхъ трубъ, въ которыхъ притокъ происходитъ съ двухъ сторонъ, наименьшій діаметръ трубъ не дѣлается меньше 80 миллиметровъ; при отвѣтвленіяхъ этотъ наименьшій діаметръ трубъ

бываетъ больше. Мы можемъ совѣтовать въ большихъ городахъ не укладывать уличныхъ трубъ діаметромъ меньше 100 миллиметровъ. Внѣ городовъ это требованіе не особенно важно, хотя опытъ показываетъ, что уменьшеніе наименьшаго діаметра трубъ до 40 миллиметровъ влечетъ за собой многія неудобства въ случаяхъ пожаровъ.

Вычисленіе размѣровъ распредѣлительныхъ сѣтей, какъ замѣчено выше, обыкновенно даетъ такіе діаметры трубъ, которыхъ въ продажѣ не имѣется; поэтому каждый результатъ вычисленія необходимо округлить и привести полученный размѣръ трубъ къ встрѣчающимся въ продажѣ калибрамъ трубъ. Чѣмъ больше употребляется трубъ одинаковыхъ діаметровъ, тѣмъ дешевле онѣ могутъ быть доставлены, и тѣмъ проще оказывается арматура, укладка, а впослѣдствіи и ремонтъ. При округленіи результатовъ вычисленій на это обстоятельство необходимо должно быть обращено вниманіе.

Во всякомъ случаѣ при данномъ количествѣ распредѣляемой воды для данной мѣстности и при данномъ расположеніи самого распредѣленія задача устройства водоснабженія является вполнѣ опредѣленной и допускающей совершенно точное рѣшеніе. Само собой разумѣется, что изъ всѣхъ возможныхъ способовъ выполненія даннаго водоснабженія всегда слѣдуетъ выбрать тотъ, который при удовлетвореніи всѣхъ предварительныхъ условій вызываетъ наименьшую начальную затрату. Удобства-же вычисленія при этомъ не должны играть никакой роли. Поэтому мы считаемъ нерациональнымъ иногда примѣняемый способъ разсчета, при которомъ размѣры сѣтей вычисляются такъ-же, какъ и отвѣтвленій, а концы отвѣтвленій соединяются между собой трубой произвольнаго діаметра для образованія круговой системы. Этого рѣшенія задачи мы подробно не будемъ разсматривать, хотя послѣ приведенныхъ нами методовъ вычисленія оно не представляетъ собой никакихъ затрудненій. Здѣсь мы разсмотримъ:

A. сѣти трубъ по круговой системѣ и
B. отвѣтвленія трубъ,

такъ какъ этимъ исчерпывается весь вопросъ о раціональномъ водораспредѣленіи. Третій способъ распредѣленія воды мы вкратцѣ разсмотримъ подъ названіемъ

C. параллельные распредѣлительные трубопроводы,

подъ которыми разумѣютъ вѣтви трубъ, уложенныя по обѣимъ сторонамъ широкихъ улицъ и служащія для сокращенія домовыхъ вѣтвей.

A. Трубныя сѣти.

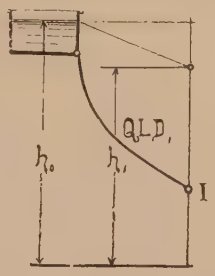
Въ сомкнутой со всѣхъ сторонъ трубной сѣти извѣстныхъ діаметровъ при извѣстномъ расходѣ воды въ различныхъ мѣстахъ получаются различныя высоты напора. Если намъ заданы не діаметры трубъ, а высоты напора въ различныхъ мѣстахъ сѣти и подымаемыя количества воды, то эти данныя могутъ служить для вычисленія діаметровъ трубъ.

Здѣсь слѣдуетъ различать 2 случая:

1. Питаніе сѣти происходитъ съ одной стороны (напр. отъ единственнаго резервуара, расположеннаго предъ сѣтью, отъ колодезной камеры или насосной станціи).

2. Питаніе сѣти происходитъ съ нѣсколькихъ сторонъ (при существованіи противоположныхъ резервуаровъ).

Въ первомъ случаѣ количество расходуемой въ I (ф. 368) воды равно полному расходу во всей сѣти; во второмъ случаѣ весь расходъ въ сѣти пополняется всѣми резервуарами.



Фиг. 368.

Измѣненія уровней воды въ резервуарахъ для обоихъ разсматриваемыхъ случаевъ при различныхъ притокахъ въ резервуары и расходахъ изъ нихъ будутъ нами разсмотрѣны ниже (см. отд. IV, гл. 17).

Обыкновенно для опредѣленія размѣровъ трубной сѣти принимается наинизшій уровень воды въ резервуарѣ. Тогда въ мѣстѣ вступленія главнаго трубопровода въ сѣть, которое мы предположимъ въ I (ф. 368), будетъ существовать высота напора h_1, опредѣляемая по формулѣ (см. отд. IV, глава 16).

$$h_1 = h_0 - \frac{\lambda Q^2 L}{D^5}$$

гдѣ h_0 обозначаемъ высоту уровня воды въ резервуарѣ надъ уровнемъ моря (или уровня воды въ колодцевой камерѣ, или избытка давленія въ напорномъ воздушномъ котлѣ насоса надъ атмосфернымъ),

h_1—высоту напора въ I, измѣряемую отъ уровня моря,

Q—полное количество воды въ кубич. метр.,

L—длину трубопровода отъ резервуара до точки I въ метрахъ,

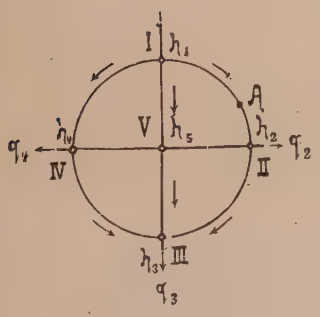
D—діаметръ (внутренній) этого трубопровода въ метрахъ,

λ—эмпирическій коэффиціентъ, значеніе котораго выяснится ниже (отд. IV глава 16).

I. Одностороннее питаніе сѣти.

Если впередъ заданныя высоты напора въ различныхъ мѣстахъ сѣти выразимъ въ высотахъ уровня воды надъ уровнемъ моря, и если для точекъ I, II, III, IV, V (фиг. 369) обозначимъ эти высоты соотвѣтственно черезъ

$$h_1,\ h_2,\ h_3,\ h_4,\ h_5,$$



Фиг. 369.

то рабочія высоты насора, или эквивалентныя имъ потери высотъ напора, для разстояній I—II, I—V, I—IV и т. д. будутъ

$$H_{1-2} = h_1 - h_2;\ H_{1-5} = h_1 - h_5;\ H_{1-4} = h_1 - h_4;\ H_{5-4} = h_5 - h_4;$$

$$H_{5-2} = h_5 - h_2;\ H_{5-3} = h_5 - h_3;\ H_{4-3} = h_4 - h_3;\ H_{2-3} = h_2 - h_3.$$

Если не происходитъ обратнаго движенія, то всѣ величины H будутъ имѣть положительныя значенія; вообще-же это предположеніе не представляетъ собой необходимаго условія.

Если водораспредѣленіе, какъ мы это принимаемъ, происходитъ отъ точки I, то при проектированіи сѣти по наибольшему расходу будетъ весьма нераціонально допускать какое-либо другое движеніе воды, отличное отъ обозначеннаго стрѣлками на чертежѣ (фиг. 369). Это требованіе обусловливаетъ собой:

$$h_1 > h_4 > h_2;\quad h_4 > h_3;$$
$$h_2 > h_3,\quad h_1 > h_5 > h_3;$$

Величина h_3 въ этомъ случаѣ, наоборотъ, можетъ быть больше или меньше величины h_2 или соотвѣтствовать величины h_4,

Если, наоборотъ, даны высоты надъ уровнемъ моря h_1, h_2 и т. д., то совершенно точно напередъ опредѣляется направленіе движенія, которое постоянно будетъ происходить отъ мѣста съ большимъ напоромъ къ мѣсту съ меньшимъ напоромъ.

Если гдѣ либо, напр. въ А, на протяженіи участка I—II, происходитъ значительный сосредоточенный расходъ воды, то движеніе воды можетъ быть направлено отъ I къ А и отъ II къ А. Впрочемъ мы ниже еще разъ вернемся къ этому случаю.

Для опредѣленія діаметровъ трубъ сложной трубопроводной сѣти необходимо должны быть даны:

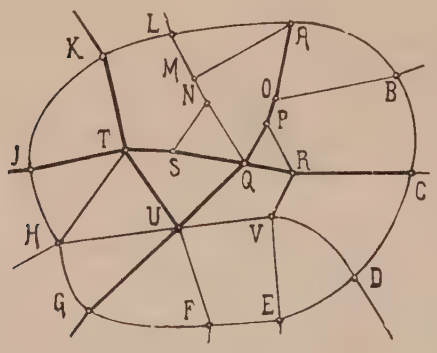
1, распредѣляемое количество воды;

2, требуемыя въ различныхъ мѣстахъ высоты напора и

3, направленіе водораспредѣленія.

Затѣмъ по расположенію путей распредѣленія, по даннымъ количествамъ воды и требуемымъ высотамъ напора необходимо заранѣе опредѣлить, на какихъ именно участкахъ должны быть расположены главные трубопроводы и отвѣтвляющіеся отъ нихъ боковые отводы. Обыкновенно это распредѣленіе главныхъ трубъ и отводовъ не представляетъ собой особыхъ затрудненій.

Представимъ себѣ уличную сѣть съ соединеніями, показанными на ф. 370. Сперва раздѣлимъ эту сѣть помощью главнаго трубопровода на двѣ части, каждую изъ которыхъ посредствомъ другого главнаго провода тоже раздѣлимъ на 2 части. Первый главный проводъ опредѣляется положеніемъ водопроводной трубы. Если она оканчивается въ *A*, то правильное положеніе перваго главнаго распредѣлительнаго провода будетъ *AOPQUG*, а въ зависимости отъ количествъ воды, требуемой по отдѣльнымъ квартирамъ, также и отъ отвѣтвленій внѣ сѣти, положеніе второго главнаго провода будетъ *JTSQRC* или *KTUVD*. Послѣднее направленіе главнаго провода выбирается въ томъ случаѣ, когда предвидится заселеніе городскихъ участковъ внѣ пунктовъ *I,H,G,F,E,D*, а первое выбирается тогда, когда развитіе новыхъ городскихъ участковъ предвидится болѣе за пунктами *D,C,B* или *H,J,K*.



Фиг. 370.

Если главная водопроводная труба вступаетъ въ сѣтъ при *K*, то направленіе перваго главнаго провода будетъ по *KTSQRVD* или *KTUVD*, а второго—по *AOPQUG*.

Если главная водопроводная труба оканчивается при *H*, то направленіе перваго главнаго провода будетъ *HUQPOA*, а второго—*KTSQRVE* или *KTUVD*, и т. д.

Опредѣливши по мѣстнымъ условіямъ направленіе главныхъ проводовъ, приступаютъ къ опредѣленію ихъ діаметровъ, а также и діаметровъ круговыхъ или соединительныхъ проводовъ.

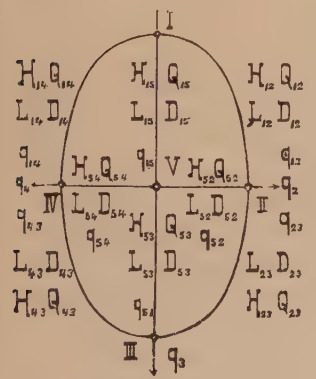
При этомъ можно руководствоваться еще слѣдующимъ соображеніемъ. Если, напр., представимъ себѣ конецъ главной водопроводной трубы въ *A* и линію *AOPQUG* замкнутыми (перерванными), то участки трубы *ALKJ* или *ALKT*, или соответственно *ABC* или *ABCD* должны быть сдѣланы такого діаметра, чтобы они могли доставлять воду второму главному проводу при сохраненіи требуемаго напора, получая ее при нормальныхъ условіяхъ изъ вѣтви *AOPQUG*.

Впрочемъ этимъ соображеніемъ руководствуются весьма рѣдко. Можно съ большей или меньшей достовѣрностью предполагать, что при случайномъ нарушеніи главнаго провода нѣкоторое временное уменьшеніе напора въ сѣти не имѣетъ особенно важнаго значенія, которое могло-бы оправдать излишнія траты на увеличеніе внутреннихъ діаметровъ трубъ на участкахъ *ALKJ* или *ABCD*.

При выборѣ направленій главныхъ проводовъ не исключается и нѣкоторый произволъ. Предпочтеніе того или другого направленія вызывается чисто мѣстными условіями, которыя ни въ какомъ случаѣ не опредѣляются исключительно только расположеніемъ улицы, но также могутъ опредѣляться отдѣльными пунктами расхода (напр. фонтанами, банями, и т. под.).

Въ сущности разсчетъ сѣти прежде всего сводится къ опредѣленію діаметровъ главныхъ проводовъ, которые группируются приблизительно такъ, какъ показано на фиг. 371. При этомъ распредѣлительные трубопроводы второго и третьяго порядка въ своихъ подраздѣленіяхъ образуютъ совершенно подобныя фигуры, такъ что вопросъ всегда сводится къ рѣшенію одинаковаго рода задачъ.

Въ предѣлахъ отдѣльныхъ участковъ I—II, I—V, I—IV и т. д. длиной L_{1-2}, L_{1-5}, L_{1-4} и т. д. по трубамъ діаметр. D_{1-2}, D_{1-5}, D_{1-4} и т. д. могутъ протекать количества распредѣляемой воды Q_{1-2}, Q_{1-5}, Q_{1-4} и т. д. при одновременныхъ въ концахъ сѣтей расходахъ q_{1-2}, q_{1-5}, q_{1-4} и т. д. Затѣмъ дальнѣйшія условія состоятъ въ томъ, что въ точкахъ пересѣченія II, III и IV стекаютъ внаружу количества воды q_2, q_3 и q_4.



Фиг. 371.

Принимая пока расходы Q_{1-2}, Q_{2-3} и т. д. равномѣрно распредѣленными можно написать 8 уравненій сообразно нижеизложенному (см. отд. IV, гл. 16), а, именно:

$$1)\quad H_{1-2} = \frac{\lambda L_{1-2}}{D_{1-2}}\left(\frac{Q_{1-2}^{\,2}}{3} + Q_{1-2}\,q_{1-2} + q_{1-2}^{\,2}\right)$$

$$2)\quad H_{1-5} = \frac{\lambda L_{1-5}}{D_{1-5}}\left(\frac{Q_{1-5}^{\,2}}{3} + Q_{1-5}\,q_{1-5} + q_{1-2}^{\,2}\right)$$

. . . . . .

$$8)\quad H_{4-3} = \frac{\lambda L_{4-3}}{D_{4-3}}\left(\frac{Q_{4-3}^{\,2}}{3} + Q_{4-3}\,q_{4-3} + q_{4-3}^{\,2}\right).$$

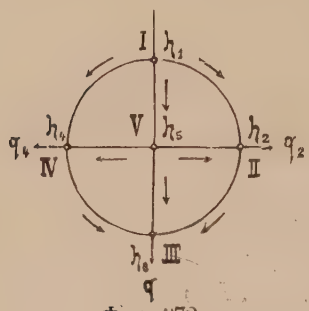
Такъ какъ въ каждой точкѣ скрещенія трубъ II, V, IV и III количество притекающей воды должно быть равно количеству истекающей, то при всѣхъ обстоятельствахъ получаются дальнѣйшія условія:

$$9)\quad q_{1-2} + q_{5-2} - q_2 - q_{2-3} - Q_{2-3} = 0$$
$$10)\quad q_{1-4} + q_{5-4} - q_4 - q_{4-3} - Q_{4-3} = 0$$
$$11)\quad q_{1-5} - q_{5-4} - q_{5-2} - q_{5-3} - Q_{5-4} - Q_{5-2} - Q_{5-3} = 0$$
$$12)\quad q_{4-3} + q_{5-3} + q_{2-3} - q_3 = 0.$$

Эти двѣнадцать уравненій содержатъ въ себѣ 16 неизвѣстныхъ, а именно 8 діаметровъ трубъ и 8 количествъ воды q_{1-2}, q_{1-5} и т. д., истекающей въ концахъ отдѣльныхъ вѣтвей. Такимъ образомъ для рѣшенія задачи необходимы еще 4 уравненія, которыя должны быть составлены предварительно, какъ спеціальныя условія. Эти уравненія могутъ быть составлены нижеуказаннымъ путемъ.

1. Произвольный выборъ четырехъ дальнѣйшихъ побочныхъ условій. Если четыре побочныхъ условія заданы заранѣе, то, какъ видно изъ нижеприведеннаго примѣра 1, ихъ оказывается достаточно для опредѣленія діаметровъ. Особенно замѣчательно въ этомъ отношеніи предположеніе, сдѣланное въ нижеприведенномъ примѣрѣ 1, а именно: каждая водопроводная вѣтвь доставляетъ одинаковую часть изливающейся внаружу

воды. Въ этомъ случаѣ, соотвѣтственно фиг. 372, помимо уравненій 9)—12) полуаются еще слѣдующія уравненія:



Фиг. 372.

13) $q_4 = 2\,(q_{1-4} - Q_{4-3} - q_{4-3})$;
14) $q_2 = 2\,(q_{1-2} - Q_{2-3} - q_{2-3})$;
15) $q_3 = 3 \cdot q_{4-3}$;
16) $q_3 = 3 \cdot q_{5-3}$;
17) $q_3 = 3 \cdot q_{2-3}$;

Уравн. 12), согласно ур. 15), 16) и 17), оказывается излишнимъ. Помощью ур. 9)—11) и 13)—17) можно опредѣлить всѣ 8 величинъ q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5}, q_{2-5}, q_{4-5} и т. д. Нахожденіе математическихъ выраженій для всѣхъ подобныхъ побочныхъ условій настолько просто, что мы здѣсь не будемъ входить въ подробности вывода этихъ уравненій.

2. Абсолютная наименьшая стоимость. Если при данныхъ высотахъ напора h_1, h_2, h_3, h_4 и h_5 и извѣстныхъ расходахъ Q_{1-2}, Q_{1-5}, Q_{1-4}, Q_{2-3}, Q_{5-3}, Q_{4-3}, Q_{5-2}, Q_{5-4} требуется расположить сѣть такъ, чтобы стоимость K начальнаго ея устройства была-бы наименьшею, то, обозначая черезъ m стоимость погоннаго метра трубопровода (въ рубляхъ), отнесенную къ діаметру трубы, для удовлетворенія этому условію получимъ уравненіе:

$$dK = d\left\{ m\,(L_{1-2}D_{1-2} + L_{1-5}D_{1-5} + L_{1-4}D_{1-4} + \ldots\ldots + L_{2-3}D_{2-3}) \right\} = 0.$$

Это условіе въ каждомъ данномъ случаѣ даетъ недостающихъ 4 уравненія.

Умноживъ ур. 9) на n_9, ур. 10) на n_{10}, ур. 11) на n_{11}, и ур. 12) на n_{12}, гдѣ n_9, n_{10}, n_{11}, n_{12} представляютъ собой постоянные коэффиціенты, и прибавляя получаемыя суммы, которыя равны нулю, къ общей стоимости K, получимъ для послѣдней выраженіе

$K = m\,(L_{1-2}D_{1-2} + L_{1-5} + L_{1-5} + L_{1-4}D_{1-4} + \ldots\ldots + L_{2-3}D_{2-3}) + n_9 \cdot 9) + n_{10} \cdot 10) + n_{11} \cdot 11) + n_{12} \cdot 12)$, въ которомъ для простоты вмѣсто уравненій поставлены ихъ обозначенія 9), 10), 11) и 12).

Такъ какъ уравненія 9), 10), 11) и 12) содержатъ въ себѣ перемѣнныя величины q_{1-2}, q_{1-5}, q_{1-4} и т. д., между тѣмъ какъ написанное уравненіе для K заключаетъ въ себѣ перемѣнныя D_{1-2}, D_{1-5}, D_{1-4} и т. д., то послѣднія величины помощью уравненій 1)—8) должны быть выражены въ зависимости отъ первыхъ. Тогда получаемъ:

$$L_{1-2}D_{1-2} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\, L_{1-2}{}^6\,(Q_{1-2}{}^2 + 3\,Q_{1-2}\,q_{1-2} + 3\,q_{1-2}{}^2)}{3\,H_{1-2}}}$$

$$L_{4-3}D_{4-3} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\, L_{4-3}{}^6\,(Q_{4-3}{}^2 + 3\,Q_{4-3}\,q_{4-3} + 3\,q_{4-3}{}^2)}{3\,H_{4-3}}}.$$

Подставляя эти значенія въ вышеприведенное уравненіе для K и дифференцируя его по q_{1-2}, q_{1-5}, q_{1-4}, q_{5-2}, q_{5-4}, q_{5-3}, q_{2-3}, q_{4-3}, получаемъ при обозначеніи

$$R_{rs} = \frac{\lambda\, L_{rs}{}^6\,(3Qrs + 6q_{rs})^5}{3\,H_{rs}\,(Q_{rs}{}^2 + 3\,Q_{rs}\,q_{rs} + 3\,q_{rs}{}^2)^4}$$

слѣдующія уравненія:

$$\frac{dk}{dq_{1-2}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{1-2}} + n_9 = 0 \quad \ldots\ldots \quad \frac{dk}{dq_{5-2}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{5-2}} + n_9 - n_{11} = 0$$

$$\frac{dk}{dq_{1-5}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{1-5}} + n_{11} = 0 \quad \ldots\ldots \quad \frac{dk}{dq_{5-3}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{5-3}} + n_{12} - n_{11} = 0$$

$$\frac{dk}{dq_{1-4}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{1-4}} + n_{10} = 0 \quad \ldots\ldots \quad \frac{dk}{dq_{2-3}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{2-3}} + n_{12} - n_9 = 0$$

$$\frac{dk}{dq_{5-4}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{5-4}} + n_{10} - n_{11} = 0 \quad \ldots\ldots \quad \frac{dk}{dq_{4-3}} = \frac{m}{5}\sqrt[5]{R_{4-3}} + n_{12} - n_{10} = 0$$

Исключая изъ этихъ уравненій постоянныя n_9, n_{10}, n_{11}, n_{12}, получимъ искомыя 4 зависимости:

$$18)\quad \sqrt[5]{R_{5-4}} + \sqrt[5]{R_{1-5}} - \sqrt[5]{R_{1-4}} = 0$$

$$19)\quad \sqrt[5]{R_{5-2}} + \sqrt[5]{R_{1-5}} - \sqrt[5]{R_{1-2}} = 0$$

$$20)\quad \sqrt[5]{R_{2-3}} + \sqrt[5]{R_{5-2}} - \sqrt[5]{R_{5-3}} = 0$$

$$21)\quad \sqrt[5]{R_{4-3}} + \sqrt[5]{R_{5-4}} - \sqrt[5]{R_{5-3}} = 0.$$

Эти уравненія совмѣстно съ уравненіями 9)–12) содержатъ въ себѣ только 8 неизвѣстныхъ q_{1-2} q_{1-5} q_{1-4} и т. д., которыя слѣд. могутъ быть опредѣлены, если только удастся рѣшить эти уравненія, т. е. путемъ пробныхъ вычисленій найти соотвѣтствующія значенія. Послѣ рѣшенія этихъ уравненій приведенныя ур. 1)—8) служатъ для нахожденія внутреннихъ діаметровъ сѣти.

2. Приблизительная наименьшая стоимость. Рѣшеніе задачи значительно упростится, если мы къ ур. 9) до 12) присовокупимъ нѣкоторыя другія условія, почти постоянно имѣющія мѣсто въ практикѣ. Такъ напр. уже заранѣе можно сказать, что ввиду наивыгоднѣйшаго дѣйствія главной линіи трубъ, выпускаемое въ концѣ сѣти при III количество воды q_3 раціональнѣе всего направить по кратчайшему пути—черезъ трубопроводы IV—III. Наименьшая стоимость приблизительно получится, когда будетъ

22) $q_{4-3} = 0$; 23) $q_{2-3} = 0$.

Выражаемыя уравненіями 9), 10), 11) и 12) условія въ этомъ случаѣ будутъ:

24) $q_{1-2} + q_{5-2} - q_2 - q_{2-3} = 0$,

25) $q_{1-5} - q_{5-4} - q_{5-2} - q_{5-3} - Q_{5-4} - Q_{4-2} - Q_{5-3} = 0$,

26) $q_{1-4} + q_{5-4} - q_4 - Q_{4-3} = 0$,

27) $q_{5-3} = q_3$;

принимая во вниманіе, что въ данномъ случаѣ q_{4-3}, q_{5-3} и q_{2-3} суть величины постоянныя, послѣ дифференцированія получимъ:

28) $R_{1-2} - R_{5-2} = 0$; 29) $\sqrt[5]{R_{1-5}} + \sqrt[5]{R_{5-4}} - \sqrt[5]{R_{1-4}} = 0$.

Помощью уравненій 22)—29) задача рѣшается гораздо проще.

Само собой разумѣется, что такое же упрощеніе получится, если величинамъ q_{4-3} и q_{2-3} будутъ приданы какія нибудь произвольныя постоянныя значенія. Такъ, напр., можно поставить условіе, чтобы количество воды q_3 доставлялось сходящимися въ III трубами такимъ образомъ, чтобы происходило равномѣрное теченіе по сѣти: при этомъ можно принять, что $q_{2-3} = q_{4-3} = q_{5-3} = \frac{q_3}{3}$, или поставить условіе, чтобы скорость въ точкѣ III была-бы одинакова со скоростями въ каждой изъ вѣтвей IV—III, V—III, II—III, и т. д. Если напр. въ сѣти имѣется противоположный резервуаръ, въ который провода I—V—III или I—IV—V или I—V—II направлены въ качествѣ главныхъ проводовъ, то можетъ оказаться раціональнымъ выбрать одинаковый діаметръ для послѣднихъ проводовъ. Въ этомъ случаѣ равенство $D_{1-5} = D_{5-3}$ или $D_{1-5} = D_{5-4}$ или же $D_{1-5} = D_{5-2}$ представляетъ собой пятое побочное условіе. Короче сказать, рѣшеніе этой задачи соотвѣтственно наименьшей стоимости всегда окажется возможнымъ, если число побочныхъ условій будетъ колебаться между 4 и 7 вышеприведенными, всегда существующими условіями.

4. Упрощенное вычисленіе абсолютной и приблизительной наименьшей стоимости. Если въ уравненія 1) до 8) подставимъ

$$30)\quad M^2 = \frac{Q^2}{3} + Qq + q^2 = (a\,Q + q)^2,$$

то численное значеніе a будетъ

$$31)\quad a = \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{q}{Q} + \frac{2^2}{Q^2}} - \frac{q}{Q},$$

такъ что при различныхъ численныхъ значеніяхъ величины $\frac{q}{Q}$ получается весьма незначи-

тельная разница въ величинѣ a. Въ нижеприведенной таблицѣ приведены различныя значенія a для величинъ $\frac{q}{Q} = 0$ до $\frac{q}{Q} = \infty$.

$\frac{q}{Q} =$	$a =$	$\frac{q}{Q} =$	$a =$	$\frac{q}{Q} =$	$a =$	$\frac{q}{Q} =$	$a =$	$\frac{q}{Q} =$	$a =$	$\frac{q}{Q} =$	$a =$
0,0	0,577	0,4	0,545	0,8	0,532	2,0	0,517	4,0	0,509	30,0	0,501
0,1	0,566	0,5	0,541	0,9	0,530	2,5	0,514	5,0	0,508	40,0	0,501
0,2	0,557	0,6	0,537	1,0	0,528	3,0	0,512	10,0	0,504	50,0	0,500
0,3	0,550	0,7	0,534	1,5	0,521	3,5	0,510	20,0	0,502	∞	0,500

Помощью этой таблицы можно легко и точно вычислить для каждаго даннаго случая значеніе

$$M^2 = \frac{Q^2}{3} + Qq + q^2 = (a\,Q + q)^2.$$

Тогда уравненія 1) до 8) принимаютъ болѣе простой видъ, а именно:

$$32)\quad H_{1-2} = \frac{\lambda\, L_{1-2}}{D_{1-2}^{\,5}}\,(a_{1-2}\,Q_{1-2} + q_{1-2})^2$$

. . . . . .

. . . . . .

$$39)\quad H_{4-3} = \frac{\lambda\, L_{4-3}}{D_{4-3}^{\,5}}\,(a_{4-3}\,Q_{4-3} + q_{4-3})^2,$$

откуда слѣдуетъ:

$$40)\quad D_{1-2} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\, L_{1-2}\,(a_{1-2}\,Q_{1-2} + q_{1-2})^2}{H_{1-2}}}$$

. . . . . .

. . . . . .

$$47)\quad D_{4-3} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\, L_{4-3}\,(a_{4-3}\,Q_{4-3} + q_{4-3})^2}{H_{4-3}}},$$

и соотвѣтственно также

$$48)\quad q_{1-2} = \sqrt{\frac{H_{1-2}\,D_{1-2}^{\,5}}{\lambda\, L_{1-2}}} - a_{1-2}\,Q_{1-2}$$

. . . . . .

$$55)\quad q_{4-3} = \sqrt{\frac{H_{4-3}\,D_{4-3}^{\,5}}{\lambda\, L_{4-3}}} - a_{4-3}\,Q_{4-3}.$$

По этимъ уравненіямъ получаются уже приблизительно точныя значенія, если помимо значенія отношенія $\frac{q}{Q}$ принять для a среднее его значеніе а именно:

$$a = 0{,}55.$$

Это обстоятельство весьма интересно, если дѣло идетъ объ опредѣленіи діаметра трубъ въ зависимости отъ наименьшей начальной стоимости.

Рѣшеніе уравненій 13)—16), если не совершенно невозможно, сопряжено съ значительными затрудненіями. По приведеннымъ нами выше упрощеніямъ стоимость сѣти опредѣляется по уравненію:

$$K = m\,(L_{1-2}\,D_{1-2} + L_{1-5}\,D_{1-5} + \ldots\ldots + L_{2-3}\,D_{2-3}) + n_9 \,.\, 9) + n_{10} \,.\, 10) + n_{11} \,.\, 11) + n_{12} \,.\, 12).$$

Подставивъ въ это уравненіе значенія D_{1-2}, D_{1-5} и т. д. изъ приведенныхъ уравненій, 40)—47) и дифференцируя это уравненіе послѣдовательно относительно q_{1-2}, q_{1-5}, q_{1-4} и т. д., получаемъ. сперва при постоянной величинѣ a, для наименьшей стоимости сѣтей, принимая для сокращенія письма

$$S_{r-s} = \frac{\lambda\, L_{r-s}^{\,6}}{H_{r-s}\,(a\,Q_{r-s} + q_{r-s})^2},$$

слѣдующія уравненія:

$$\frac{dK}{dq_{1-2}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{1-2}} + n_9 = 0; \quad \frac{dK}{dq_{5-2}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{5-2}} + n_9 - n_{11} = 0$$

$$\frac{dK}{dq_{1-5}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{1-5}} + n_{11} = 0; \quad \frac{dK}{dq_{5-3}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{5-3}} + n_{12} - n_{11} = 0$$

$$\frac{dK}{dq_{1-4}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{1-4}} + n_{10} = 0; \quad \frac{dK}{dq_{2-3}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{2-3}} + n_{12} - n_9 = 0$$

$$\frac{dK}{dq_{5-4}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{1-4}} + n_{10} - n_{11} = 0; \quad \frac{dK}{dq_{4-3}} = \frac{2m}{5}\sqrt[5]{S_{4-3}} + n_{12} - n_{10} = 0.$$

Исключая отсюда неизвѣстные намъ коэффиціенты n_9, n_{10}, n_{11} и n_{12}, получаемъ четыре уравненія:

$$56)\quad \sqrt[5]{S_{5-4}} + \sqrt[5]{S_{1-5}} - \sqrt[5]{S_{1-4}} = 0$$

$$57)\quad \sqrt[5]{S_{5-2}} + \sqrt[5]{S_{1-5}} - \sqrt[5]{S_{1-2}} = 0$$

$$58)\quad \sqrt[5]{S_{2-3}} + \sqrt[5]{S_{5-2}} - \sqrt[5]{S_{5-3}} = 0$$

$$59)\quad \sqrt[5]{S_{4-3}} + \sqrt[5]{S_{5-4}} - \sqrt[5]{S_{5-3}} = 0,$$

которыя гораздо проще уравненій 13)—16).

Вводя сюда дальнѣйшія условія $q_{2-3} = 0$, $q_{4-3} = 0$, т. е. принимая побочныя условія, выраженныя уравненіями 17)—22), получаемъ аналогично съ предыдущимъ:

$$60)\quad S_{1-2} - S_{5-2} = 0$$

$$61)\quad \sqrt[5]{S_{1-5}} + \sqrt[5]{S_{5-4}} - \sqrt[5]{S_{1-4}} = 0.$$

Эти уравненія рѣшаются весьма просто.

Если въ предѣлахъ одного участка количества воды Q не распредѣляются равномѣрно, а расходъ сосредоточенъ въ нѣсколькихъ только пунктахъ, то значеніе a должно быть вычислено отдѣльно для всякаго даннаго случая; вообще это значеніе a, какъ увидимъ ниже изъ примѣровъ, немного отличается отъ вышеприведенныхъ значеній.

5. Установленіе нѣкотораго предѣльнаго значенія U_m для скорости. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ практики ставится условіе, чтобы при нормальномъ движеніи по трубной сѣти скорость воды не превышала-бы извѣстнаго предѣла, обыкновенно принимаемаго равнымъ 1 метру въ секунду; если скорость воды превышаетъ этотъ предѣлъ, то при открываніи и закрываніи выпускныхъ отверстій въ сѣти могутъ произойти опасные удары воды. Въ подобныхъ случаяхъ опредѣленіе діаметра трубъ производится весьма просто.

Если назовемъ эту предѣльную скорость [1]) черезъ U_m, то приведенное нами условіе въ общемъ видѣ выражается формулой

$$U_m \frac{\pi D^2}{4} \geqq Q + q,$$

и анологично вышеприведенному случаю изъ нея получаемъ:

$$62)\quad D_{1-2} \geqq \sqrt{\frac{4(Q_{1-2} + q_{1-2})}{\pi U_m}}$$

. . . . . .

$$69)\quad D_{4-3} \geqq \sqrt{\frac{4(Q_{4-3} + q_{4-3})}{\pi U_m}}.$$

[1]) Само собой разумѣется, что при постоянномъ діаметрѣ на извѣстномъ протяженіи трубопровода подъ этой скоростью слѣдуетъ разумѣть только начальную скорость.

Само собой разумѣется, что величины H_{1-2}, H_{1-4} и т. д. въ этомъ случаѣ ограничены извѣстными предѣлами, такъ что нельзя впередъ сказать, что условія нашей задачи могутъ быть удовлетворены при сохраненіи данныхъ рабочихъ высотъ напора. Если же это дѣйствительно имѣетъ мѣсто, то изъ сравненія значеній D_{1-2}, D_{1-4} и т. д., соотвѣтствующихъ ур-іямъ 40)—47) и 62)—69), непосредственно опредѣляются положительныя значенія величинъ q_{1-2}, q_{1-4} и т. д. Въ этомъ случаѣ получаемъ:

$$70)\quad \sqrt{\frac{4\,(Q_{1-2}+q_{1-2})}{\pi\, U_m}} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\, L_{1-2}\,(a\,Q_{1-2}+q_{1-2})^2}{H_{1-2}}}$$

. . . . . .

$$77)\quad \sqrt{\frac{4\,(Q_{4-3}+q_{4-3})}{\pi\, U_m}} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\, L_{4-3}\,(a\,Q_{4-3}+q_{4-3})}{H_{4-3}}}.$$

Если ур. 70)—77) даютъ отрицательныя значенія величинъ q_{1-2}, q_{1-4} и т. д., то это служитъ доказательствомъ, что паденія на соотвѣтственныхъ протяженіяхъ вообще слишкомъ велики для удовлетворенія условію $U_m\,\pi\,D^2 > 4\,(Q+q)$.

Въ подобномъ случаѣ необходимо сперва подыскать подходящія значенія q_{1-2}, q_{1-4} и т. д., и по нимъ, согласно ур. 62)—69) опредѣлить величины діаметровъ, а затѣмъ уже, руководствуясь ур. 32)—39), опредѣлить соотвѣтствующія новыя значенія высотъ напора или паденій.

Если возможно выразить ур. 62)—69) не въ видѣ $D_{1-2} \geqq f(Q, q)$, а въ видѣ $D_{1-2} = f(Q, q)$ то при сохраненіи условія $U_m \leq 1$ можно опредѣлить діаметры трубъ по условію наименьшей общей стоимости трубопроводной сѣти. Для этого предположимъ, какъ и выше,

$$dK = \left\{ m\,(L_{1-2}\,D_{1-2} + L_{1-5}\,D_{1-5} + L_{1-4}\,D_{1-4} + \ldots\ldots) \right\} = 0;$$

принимая въ соображеніе побочныя условія, выраженныя ур. 9)—12), и обозначая

$$\frac{L_{r-s}}{\sqrt{Q_{r-s}+q_{r-s}}} = S_{r-s},$$

получимъ:

78) $S_{1-5} + S_{5-4} - S_{1-4} = 0$;
79) $S_{1-5} + S_{5-2} - S_{1-2} = 0$;
80) $S_{5-2} + S_{2-3} - S_{5-3} = 0$;
81) $S_{5-4} + S_{4-3} - S_{5-3} = 0$.

Если здѣсь къ ур. 9)—12) присовокупить еще два уравненія, а именно: $q_{2-3} = 0$, $q_{4-3} = 0$, то, аналогично предыдущему, вмѣсто ур. 78)—81) получаются уравненія

82) $S_{1-2} - S_{5-2} = 0$;
83) $S_{1-5} + S_{5-4} - S_{1-4} = 0$,

помощью которыхъ задача рѣшается очень легко.

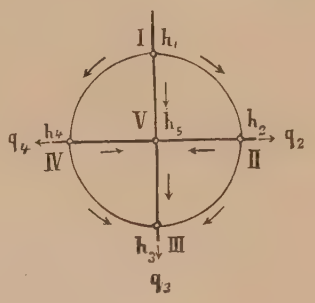
Направленіе движенія, или соотвѣтственно знаки предъ величинами q_{5-4}, q_{2-5}, q_{5-3} и т. д. могутъ быть впередъ опредѣлены по значеніямъ h_1, h_2, h_3, ... h_8. Такъ напр. если

$h_1 > h_2 > h_3$; $\quad h_1 > h_4 > h_3$;
$h_1 > h_5 > h_3$; $\quad h_5 > h_2$ и $h_5 > h_4$,

то при предположенномъ нами равномѣрномъ расходѣ движеніе постоянно будетъ происходить по направленію отмѣченныхъ на фиг. 372 стрѣлокъ, независимо отъ діаметровъ трубъ и количествъ воды въ трубопроводѣ. При нормальныхъ обстоятельствахъ изображенное по этой схемѣ распредѣленіе воды представляетъ собой наиболѣе раціональное, и, гдѣ это только выполнимо, всегда слѣдуетъ выбирать высоты напора h_1, h_2 и т. д. такъ, чтобы оказалось возможнымъ устроить подобное водораспредѣленіе.

Уже менѣе раціональнымъ будетъ распредѣленіе воды, показанное на фиг. 373. Здѣсь идущія изъ пунктооъ II и IV количества воды q_{2-5} и q_{4-5} направляются обратнымъ путемъ къ центру V сѣти, и при вычисленіи ихъ по ур. 1) до 12) они должны быть приняты съ отрицательнымъ знакомъ.

При нормальныхъ условіяхъ, преимущественно при сѣти, имѣющей приблизительно симметричное относительно главныхъ осей очертаніе, сдѣланныя нами выше (п. 1) предположенія и распредѣленіе съ показаннымъ на фиг. 372 движеніемъ воды даютъ результаты, весьма близкіе къ наименьшей стоимости сѣти, какъ это видно изъ сравненія нижеприведенныхъ примѣровъ 1 и 2.



Фиг. 373.

Впрочемъ, намъ нѣтъ необходимости связывать себя всѣми этими допущеніями. Можно также предполагать, что, вслѣдствіе извѣстныхъ обстоятельствъ, при показанномъ на фиг. 373 распредѣленіи участки II—V, V—IV и II—III снабжаются изъ вѣтви I—II, или что вѣтвь I—V также снабжается вѣтвями IV—III и II—III, и т. д. Точно также можно предполагать, что питаніе отдѣльныхъ участковъ производится двумя прилегающими трубопроводами.

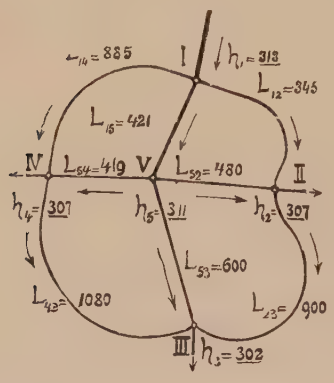
Всѣ сдѣланныя нами допущенія подтверждаются въ дѣйствительности, если опредѣляются соотвѣтственныя имъ значенія q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5}, q_{5-2} и т. д., и по нимъ, согласно ур. 1)—12) вычисляются діаметры трубопроводовъ. Если, наоборотъ, намъ даны діаметры трубопроводовъ и равномѣрно расходуемыя количества воды при имѣющихся въ распоряженіи высотахъ напора, что ур. 1)—12) даютъ намъ исходныя точки для вычисленія величинъ q_{1-2}, q_{1-5} и т. д. т. е. для выясненія себѣ всего водораспредѣленія.

Приведемъ здѣсь нѣсколько примѣровъ для лучшаго разъясненія примѣненія найденныхъ нами формулъ.

При составленіи формулъ мы поступали такъ, какъ если-бы коэффиціентъ λ (ср. отд. IV, см. 14) имѣлъ-бы постоянное значеніе, которое обыкновенно можетъ быть принято по Дюпюи $\lambda = 0{,}0025$. Для магистральныхъ трубъ среднихъ и небольшихъ сѣтей большей частью получаются діаметры трубъ, при которыхъ приведенное нами значеніе соотвѣтствуетъ приблизительно среднему значенію этого кеэффиціента. Если-же не желаютъ удовольствоваться этой степенью точности, то, опредѣливши первыя приближенныя значенія при $\lambda = 0{,}0025$, нетрудно затѣмъ ввести соотвѣтственныя дальнѣйшія поправки.

Мы не будемъ здѣсь входить въ эти подробности, полагая что эти поправки не имѣютъ особаго практическаго значенія. Такъ какъ полученные при вычисленіяхъ діаметры трубъ должны быть округлены до ближайшаго большаго діаметра трубъ, встрѣчаемыхъ въ продажѣ, и такъ какъ здѣсь идетъ вопросъ о магистральныхъ проводахъ, діаметры которыхъ обыкновенно бываютъ довольно значительны, то можно исключить всякое опасеніе получать при вычисленіяхъ по нашему способу недостаточные діаметры трубъ.

1. Примѣръ. Крупный городъ въ день наибольшаго потребленія и въ часъ наибольшей напряженности водоснабженія расходуетъ 0,1369 куб. метр. воды въ секунду. Это количество воды, соотвѣтственно числу жителей и особымъ потребностямъ, главнымъ образомъ распредѣляется такъ, что на протяженіи I—II—III (фиг. 374) расходуется 0,0279 куб. метр., на протяженіи I—IV—III—0,0500 куб. метр., а на протяженіяхъ IV—III, V—IV, V—II вмѣстѣ равномѣрно расходуется 0,0400 куб. метр. Въ пунктахъ II и IV отводится наружу по 0,005 куб. метр. Требуется опредѣлить діаметры трубной сѣти, если во время наибольшей интенсивности водоснабженія въ пунктахъ I, II, III, IV и V должны сохраняться рабочія высоты напора, считаемыя отъ уровня моря:



Фиг. 374.

$h = 313$, $h_2 = 307$, $h_3 = 302$, $h_4 = 307$, $h_5 = 311$ метр.

Прежде всего изъ заданныхъ высотъ напора мы видимъ, что во время даннаго расхода движеніе воды въ сѣти будетъ происходить по направленію показанныхъ на фиг. 374 стрѣлокъ. Распредѣляя расходъ воды по отдѣльнымъ участкамъ длины магистрали, т. е. принимая количества воды пропорціональными длинамъ участковъ, получаемъ на участкѣ I—IV длиной $L_{1-4} = 885$ расходъ воды

$$Q_{1-4} = \frac{0{,}0500 \cdot 885}{885 + 1080} = 0{,}0225 \text{ куб метр.}$$

Аналогично съ этимъ для участка IV—III при $L_{4-3} = 1080$ метр. расходъ будетъ

$$Q_{4-3} = \frac{0{,}0500 \cdot 1080}{885 + 1080} = 0{,}0275 \text{ куб. метр,}$$

Точно такимъ-же образомъ для участковъ I—V, V—IV, V—II, V—III получаемъ

$$Q_{1-5} = \frac{0{,}0400 \cdot 421}{421 + 419 + 480 + 600} = 0{,}0088 \text{ куб. метр.}$$

$$Q_{5-4} = \frac{0{,}0400 \cdot 419}{421 + 419 + 480 + 600} = 0{,}0087 \text{ куб. метр.}$$

$$Q_{5-2} = \frac{0{,}0400 \cdot 480}{421 + 419 + 480 + 600} = 0{,}0100 \text{ куб. метр.}$$

$$Q_{5-3} = \frac{0{,}0400 \cdot 600}{421 + 419 + 480 + 600} = 0{,}0125 \text{ куб. метр.}$$

Затѣмъ для участковъ I-II, II-III получаемъ

$$Q_{1-2} = \frac{0{,}0279 \cdot 645}{645 + 900} = 0{,}0117 \text{ куб. метр.}$$

$$Q_{2-3} = \frac{0{,}0279 \cdot 900}{645 + 900} = 0{,}0162 \text{ куб. метр.}$$

Изъ вышеприведенныхъ ур. 9) 10) и 11 получаемъ

1) $q_{1-2} = Q_{2-3} + q_{2-3} + q_2 + q_{5-2} = 0{,}0212 + q_{2-3} - q_{5-2}$

2) $q_{1-4} = Q_{4-3} + q_{4-3} + q_4 + q_{5-4} = 0{,}0325 + q_{4-3} - q_{5-4}$

3) $q_{1-5} = Q_{5-4} + Q_{5-3} + Q_{5-2} + q_{5-4} + q_{5-3} + q_{5-2} = 0{,}0312 + q_{5-4} + q_{5-3} + q_{5-2}$

Если затѣмъ примемъ, что для отводимыхъ наружу количествъ воды q_2, q_3 и q_4 каждая допроводная вѣтвь доставляетъ одинаковое количество воды, то получаемъ еще условія:

4) $\frac{q_4}{2} = 0{,}0025 = q_{1-4} - Q_{4-2} - q_{4-3}$, т. е. $0{,}0300 = q_{1-4} - q_{4-3}$;

5) $\frac{q_2}{2} = 0{,}0025 = q_{1-2} - Q_{2-3} - q_{2-3}$, т. е. $0{,}0187 = q_{1-2} - q_{2-3}$;

6) $q_{4-3} = \frac{q_3}{3} = 0{,}0030$; 7) $q_{2-3} = \frac{q_3}{3} = 0{,}0030$; 8) $q_{5-3} = \frac{q_3}{3} = 0{,}0030$.

Помощью этихъ послѣднихъ трехъ уравненій изъ ур. 4) и 5) получаемъ:

$0{,}0300 = q_{1-4} - 0{,}0030$; $q_{1-4} = 0{,}0330$; $0{,}0187 = q_{1-2} - 0{,}0030$; $q_{1-2} = 0{,}0217$.

Подставивъ эти значенія въ 1) и 2), получаемъ:

$$0{,}0217 = 0{,}0212 + 0{,}0030 - q_{5-2} \quad \text{и} \quad q_{5-2} = 0{,}0025;$$
$$0{,}0330 = 0{,}0325 + 0{,}0030 - q_{5-4} \quad \text{и} \quad q_{5-4} = 0{,}0025.$$

Наконецъ, при найденныхъ значеніяхъ ур. 3 даетъ:

$$q_{1-5} = 0{,}0312 + q_{5-4} + q_{5-3} + q_{5-2} = 0{,}0312 + 0{,}0025 + 0{,}0030 - 0{,}0025 = 0{,}0392$$

Отсюда получаются слѣдующія числовыя отношенія:

$$\frac{q_{1-2}}{Q_{1-2}} = \frac{0{,}0217}{0{,}0117} = 1{,}86; \qquad \frac{q_{1-4}}{Q_{1-4}} = \frac{0{,}0330}{0{,}0225} = 1{,}47;$$
$$\frac{q_{1-5}}{Q_{1-5}} = \frac{0{,}0392}{0{,}0088} = 4{,}45; \qquad \frac{q_{5-4}}{Q_{5-4}} = \frac{0{,}0025}{0{,}0087} = 0{,}29;$$
$$\frac{q_{5-2}}{Q_{5-2}} = \frac{0{,}0025}{0{,}0100} = 0{,}25; \qquad \frac{q_{5-3}}{Q_{5-3}} = \frac{0{,}0030}{0{,}0125} = 0{,}24;$$
$$\frac{q_{4-3}}{Q_{4-3}} = \frac{0{,}0030}{0{,}0275} = 0{,}11; \qquad \frac{q_{2-3}}{Q_{2-3}} = \frac{0{,}0030}{0{,}0162} = 0{,}19.$$

Согласно вышеприведенной таблицѣ этимъ значеніямъ соотвѣтствуютъ:

$$a_{1-2} = 0{,}518;\ a_{1-4} = 0{,}521;\ a_{1-5} = 0{,}509;\ a_{5-4} = 0{,}551;$$
$$a_{5-2} = 0{,}554;\ a_{5-3} = 0{,}554;\ a_{4-3} = 0{,}565;\ a_{2-3} = 0{,}558.$$

По ур. 40) мы непосредственно получаемъ діаметръ трубы

$$D_{1-2} = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \cdot 645 \cdot (0{,}518 \cdot 0{,}0117 + 0{,}0217)^2}{313-307}} = 0{,}183,$$

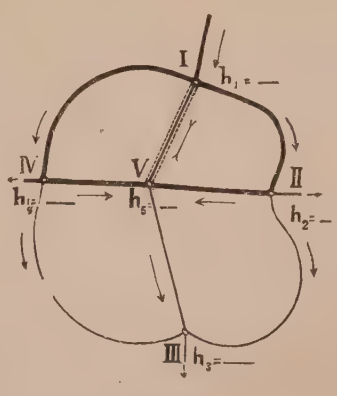
и аналогично этому изъ ур. 41)—47) получаемъ

$$D_{1-4} = 0{,}236;\ D_{1-5} = 0{,}251;\ D_{5-4} = 0{,}107;\ D_{5-2} = 0{,}114,\ D_{5-3} = 0{,}110;\ D_{2-3} = 0{,}145;\ D_{4-3} = 0{,}179.$$

Если теперь принять во вниманіе, что принятое нами значеніе величины λ оказывается приблизительно удовлетворительнымъ для большинства получаемыхъ діаметровъ, и только для $D_{5-4}, D_{5-3}, D_{2-3}$ оно должно быть нѣсколько увеличено, и что получаемые діаметры должны быть округлены до ближайшихъ встрѣчающихся въ продажѣ діаметровъ трубъ, то получаемъ слѣдующіе практически потребные діаметры трубъ:

$D_{1-2} = 200$ миллим., $D_{1-4} = 250$ миллим, $D_{1-5} = 275$ миллим, $D_{5-4} = 125$ миллим.
$D_{5-2} = 125$ „ $D_{5-3} = 125$ „ $D_{4-3} = 200$ „ $D_{2-3} = 175$ „

Въ практикѣ обыкновенно не принимаютъ во вниманіе разсмотрѣннаго нами выше случая, а именно что при наступленіи наибольшаго потребленія воды одинъ изъ отвѣтвленныхъ отъ I трубопроводовъ можетъ быть закрытъ; въ подобномъ исключительномъ случаѣ довольствуются меньшею высотой напора. Тѣмъ не менѣе весьма нетрудно принять во вниманіе и это обстоятельство.



Фиг. 375.

Въ разсматриваемомъ нами случаѣ наименѣе благопріятное предположеніе, (т. е. то, которое даетъ наибольшіе діаметры трубъ) будетъ состоять въ томъ, что участокъ I—V исключенъ изъ сѣти. Если допустимъ, что при прекращеніи доставленія воды по участку I—V отвѣтвленные отъ него боковые трубопроводы должны питаться отъ I—IV и I—II, и что общій расходъ не уменьшился въ сравненіи съ прежнимъ, то вычисленіе можетъ быть произведено слѣдующимъ путемъ.

Водоснабженіе будетъ производиться по показанному на ф. 375 способу. При этомъ h_1 и h_5 остаются неизмѣнными, какъ и прежде; напоры-же h_2 и h_4 должны быть увеличены, такъ какъ теперь участки II—V, IV—V и V—III питаются изъ II и IV, т. е. въ направленіи, противоположномъ направленію теченія въ предыдущемъ случаѣ. Здѣсь, впрочемъ, измѣняются только діаметры участковъ, изображенныхъ толстыми линіями; на участкахъ-же II—III, V—III и IV—III діаметры должны быть сохранены, ввиду прежнихъ требованій.

Допустимъ, что расходъ на исключенномъ участкѣ I—V теперь производится по трубопроводамъ I—IV, I—II пропорціонально ихъ длинамъ. Если черезъ M_{1-4} и M_{1-2} обозначимъ соотвѣтственныя количества воды, то согласно нашего предположенія

$$M_{1-4} + M_{1-2} = Q_{1-5} = 0{,}0088;\ M_{1-4} : M_{1-2} = L_{1-4} : L_{1-2} = 885 : 645,$$

откуда получаемъ

$$M_{1-2} = 0{,}0037 \text{ и } M_{1-4} = 0{,}0051.$$

Такимъ образомъ количество воды, распредѣляемой по участку I—IV, составляетъ:

$$Q_{1-4} = 0{,}0225 + 0{,}0051 = 0{,}0276,$$

а по участку I—II количество распредѣляемой воды составляетъ

$$Q_{1-2} = 0{,}0117 + 0{,}0037 = 0{,}0154.$$

На остальныхъ участкахъ II—V, IV—V, II—III, IV—III и V—III распредѣляемыя количества воды остаются неизмѣнными, какъ и прежде.

Въ пунктѣ V къ участку V—III должно быть отведено количество воды $Q_{5-3} + \frac{1}{3} \cdot q_3 = 0{,}0125 + 0{,}0030 = 0{,}0155$. Такимъ образомъ получается

$$q_{4-5} + q_{2-5} = 0{,}0155.$$

Соотвѣтствующее наименьшей стоимости предположеніе, что болѣе короткая вѣтвь доставляетъ большую, а длинная вѣтвь—меньшую часть всего количества воды, даетъ условіе:

$$q_{4-5} : q_{2-5} = L_{2-5} : L_{4-5} = 480 : 419,$$

откуда слѣдуетъ

$$q_{2-5} = 0{,}0072 \text{ и } q_{4-5} = 0{,}0083.$$

Отсюда опредѣляются количества воды q_{1-2} и q_{1-4}, отводимой въ пунктахъ II и IV:

$$q_{1-2} = q_2 + Q_{2-3} + q_{2-3} + Q_{2-5} + q_{2-5} = 0{,}0050 + 0{,}0162 + 0{,}0030 + 0{,}0100 + 0{,}0072 = 0{,}0414;$$
$$q_{1-4} = q_4 + Q_{4-3} + q_{4-3} + Q_{4-5} + q_{4-5} = 0{,}0050 + 0{,}0275 + 0{,}0030 + 0{,}0087 + 0{,}0083 = 0{,}0525.$$

Послѣ окончательнаго опредѣленія водораспредѣленія можно опредѣлить 4 діаметра D_{1-4}, D_{4-5}, D_{1-2}, D_{2-5}, а также и 2 неизвѣстныхъ высоты напора h_4 и h_2. Прежде всего по вышеприведенной таблицѣ имѣемъ:

$$a_{1-2} = 0{,}514;\ a_{2-5} = 0{,}534;\ a_{1-4} = 0{,}519;\ a_{4-5} = 0{,}529.$$

Отсюда, согласно ур. 32, получаемъ:

$$h_1 - h_2 = \frac{0{,}0025 \cdot 645}{D^5_{1-2}} (0{,}514 \cdot 0{,}0154 + 0{,}0414)^2 = 313 - h_2;$$
$$h_2 - h_5 = \frac{0{,}0025 \cdot 480}{D^5_{2-5}} (0{,}534 \cdot 0{,}0100 + 0{,}0072)^2 = h_2 - 311;$$
$$h_1 - h_4 = \frac{0{,}0025 \cdot 885}{D^5_{1-4}} (0{,}519 \cdot 0{,}0276 + 0{,}0525)^2 = 313 - h_4;$$
$$h_4 - h_5 = \frac{0{,}0025 \cdot 419}{D^5_{4-5}} (0{,}529 \cdot 0{,}0087 + 0{,}0083)^2 = h_4 - 311.$$

Для нахожденія шести неизвѣстныхъ величинъ недостаетъ еще двухъ уравненій. Но обыкновенно въ практикѣ при устройствѣ водоснабженія желательно сдѣлать стоимость

$$K_2 = m (D_{1-2} L_{1-2} + D_{2-5} L_{2-5})$$
$$K_4 = m (D_{1-4} L_{1-4} + D_{4-5} L_{4-5})$$

наименьшими, и эти два условія даютъ намъ еще два уравненія, а именно $\frac{dK_2}{dh_2} = 0$ и $\frac{dK_4}{dh_4} = 0$.

Прежде всего приведенныя 4 уравненія даютъ намъ:

$$D_{1-2} = \sqrt[5]{\frac{0{,}003967}{313 - h_2}};\quad D_{2-5} = \sqrt[5]{\frac{0{,}000188}{h_2 - 311}};$$

$$D_{1-4} = \sqrt[5]{\frac{0{,}009873}{313 - h_4}};\quad D_{4-5} = \sqrt[5]{\frac{0{,}000174}{h_4 - 311}}.$$

Отсюда слѣдуетъ:

$$K_2 = m \left\{ \frac{213{,}43}{\sqrt[5]{313 - h_2}} + \frac{86{,}27}{\sqrt[5]{h_2 - 311}} \right\} \text{ и } K_4 = m \left\{ \frac{351{,}43}{\sqrt[5]{313 - h_4}} + \frac{74{,}21}{\sqrt[5]{h_4 - 311}} \right\}.$$

Дифференцируя послѣднія 2 равенства: первое по h_2, а второе по h_4 и приравнивая первыя производныя нулю, получаемъ

$$h_2 = \frac{311 \cdot A + 313}{1 + A} = 311{,}32, \left[\text{гдѣ } A = \left(\frac{213{,}43}{86{,}27} \right)^{5/6} \right];$$

$$h_4 = \frac{311 \cdot B + 313}{1 + B} = 311{,}43, \left[\text{гдѣ } B = \left(\frac{351{,}43}{74.21} \right)^{5/6} \right].$$

Послѣ этого уже нетрудно опредѣлить діаметры, которые будутъ:

$$D_{1-2} = \sqrt[5]{\frac{0{,}003967}{313 - 311{,}32}} = 0{,}299; \qquad D_{2-5} = \sqrt[5]{\frac{0{,}000188}{311{,}32 - 311}} = 0{,}225;$$

$$D_{1-4} = \sqrt[5]{\frac{0{,}009873}{313 - 311{,}43}} = 0{,}363; \qquad D_{4-5} = \sqrt[5]{\frac{0{,}000174}{311{,}43 - 311}} = 0{,}209.$$

Принимая въ соображеніе калибры имѣющихся въ продажѣ трубъ, мы выбираемъ эти діаметры

$$D_{1-2} = 0{,}300;\ D_{2-5} = 0{,}225;\ D_{1-4} = 0{,}375;\ D_{4-5} = 0{,}225.$$

Принимая во вниманіе всѣ упомянутыя возможныя соображенія или только часть ихъ, легко опредѣлить размѣры трубной сѣти путемъ выбора изъ получаемыхъ при вычисленіяхъ результатовъ.

2. Примѣръ. Опредѣлить діаметры различныхъ трубопроводовъ сѣти, если при прочихъ обстоятельствахъ, одинаковыхъ, какъ и въ примѣрѣ 1, желательно достигнуть наименьшей стоимости устройства?

По требуемымъ высотамъ напора получаемъ:

$$H_{1-2} = h_1 - h_2 = 6;\ H_{1-5} = h_1 - h_5 = 2;\ H_{2-3} = h_2 - h_3 = 5;\ H_{5-4} = h_5 - h_4 = 4;$$
$$H_{1-4} = h_1 - h_4 = 6;\ H_{5-3} = h_5 - h_3 = 9;\ H_{4-3} = h_4 - h_3 = 5;\ H_{5-2} = h_5 - h_2 = 4.$$

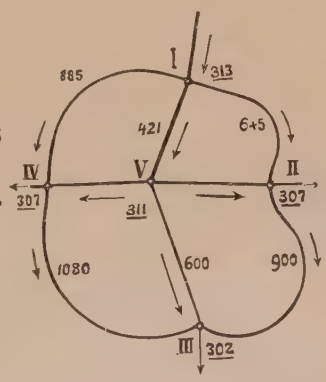
Затѣмъ по извѣстнымъ намъ изъ примѣра 1 количествамъ распредѣляемой воды:

$$Q_{1-2} = 0{,}0117;\ Q_{1-4} = 0{,}0225;\ Q_{1-5} = 0{,}0088;\ Q_{5-3} = 0{,}0125,$$
$$Q_{2-3} = 0{,}0162,\ Q_{4-3} = 0{,}0275;\ Q_{5-4} = 0{,}0087;\ Q_{5-2} = 0{,}0100$$

получаемъ

$$q_2 = q_4 = 0{,}0050;\ q_3 = 0{,}0090.$$

Длины отдѣльныхъ участковъ трубъ показаны на фиг. 376 и составляютъ $L_{5-4} = 419$, $L_{5-2} = 480$.



Фиг. 376.

По этимъ числовымъ даннымъ уравненія (9—12) даютъ намъ значенія:

1) $q_{1-2} + q_{5-2} - q_{2-3} - 0{,}0212 = 0$;
2) $q_{1-4} + q_{5-4} - q_{4-3} - 0{,}0325 = 0$;
3) $q_{1-5} + q_{5-4} - q_{5-2} - q_{5-3} - 0{,}0312 = 0$;
4) $q_{4-3} + q_{5-3} + q_{2-3} - 0{,}0090 = 0$.

по которымъ возможно общее рѣшеніе задачи.

Допустимъ, что $q_{4-3} = q_{2-3} = 0$, [1]) т. е. что количество воды q_3 въ періодъ наибольшаго расхода доставляется непосредственно главной вѣтвью I—V—III (какъ выше). Тогда получаются дальнѣйшія условія:

5) $q_{4-3} = 0$; 6) $q_{2-3} = 0$,

---

[1]) Если желательно получить общее рѣшеніе этой задачи, т. е. безъ этого сдѣланнаго нами допущенія, то примѣняютъ уравненія 56)—59), которыя разрѣшаются пробнымъ путемъ. Простѣйшій способъ подобнаго рѣшенія вопроса состоитъ въ томъ, что при извѣстной допущенной величинѣ q_{5-3} помощью ур. 58) и 59) опредѣляютъ значенія q_{5-2} и q_{5-4}, получаемыя при величинахъ q_{2-3} и q_{4-3} поперемѣнно равныхъ нулю. Такимъ путемъ получаемъ наглядную таблицу, совершенно подобную той, которая приведена нами ниже въ примѣрѣ 4; соотвѣтствующее значеніе q_{5-3} легко опредѣляется по этой таблицѣ, а по полученному такимъ образомъ значенію опредѣляются величины q_{4-3} и q_{2-3}. Затѣмъ находятъ величины q_{5-4} и q_{5-2} изъ ур. 58) и 59) и путемъ подстановки въ ур. 56) и 57) опредѣляются другія неизвѣстныя величины. Этотъ способъ, какъ видно, нѣсколько сложенъ, и даваемые имъ результаты только весьма мало отличаются отъ получаемыхъ при простомъ допущеніи $q_{4-3} = q_{2-3} = 0$.

и по ур. 60) и 61), предполагая пока $\alpha = 0{,}55$, получаемъ

$$7)\quad \frac{\lambda \cdot 645^6}{6\,(0{,}55 \cdot 0{,}0117 + q_{1-2})^3} = \frac{\lambda \cdot 480^6}{4\,(0{,}55 \cdot 0{,}0100 + q_{5-2})^3},$$

$$8)\quad \sqrt[5]{\frac{\lambda \cdot 421^6}{2\,(0{,}55 \cdot 0{,}0032 + q_{1-5})^3}} + \sqrt[5]{\frac{\lambda \cdot 419^6}{4\,(0{,}55\ \ 0{,}0087 + q_{5-4})^3}} = \sqrt[5]{\frac{\lambda \cdot 885^6}{6\,(0{,}55 \cdot 0{,}0225 + q_{1-4})^3}}.$$

Сокращая ур. 7) на λ, получаемъ

$$0{,}55 \cdot 0{,}0100 + q_{5-2} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 480^3}{4 \cdot 645^6}}\,(0{,}55 \cdot 0{,}0117 + q_{1-2}),$$

т. е. $q_{5-2} = 0{,}63396 \cdot q_{1-2} - 0{,}0014$.

Отъ комбинаціи этого ур. съ ур. 1 получается

$$q_{1-2} = 0{,}0138 \text{ и } q_{5-2} = 0{,}0074.$$

Вводя поправку этихъ значеній принятіемъ $\frac{q_{1-2}}{Q_{1-2}} = 1{,}19$ и $\frac{q_{5-2}}{Q_{5-2}} = 0{,}74$ и подставляя вмѣсто общаго значенія $\alpha = 0{,}55$ частныя значенія $\alpha_{1-2} = 0{,}525$ и $\alpha_{5-2} = 0{,}533$ изъ предыдущей таблицы, получаемъ тѣ-же результаты, что и прежде. Такимъ образомъ вычисленіе можетъ быть произведено по найденнымъ нами значеніямъ, и сравненіе полученныхъ результатовъ съ результатами, полученными по ур. 23), показываетъ полное ихъ соотвѣтствіе, какъ мы это увидимъ ниже.

Такъ какъ по ур. 4) величина $q_{5-3} = 0{,}0090$, то изъ ур. 2) и 3) слѣдуетъ

$$q_{1-4} = 0{,}0325 - q_{5-4};\ q_{1-5} = q_{5-4} + 0{,}0074 + 0{,}0090 + 0{,}0312 = q_{5-4} + 0{,}0476.$$

Наконецъ изъ ур. 8), сокращая его на общій множитель $\sqrt{\lambda}$, получаемъ:

$$\sqrt[5]{\frac{421^6}{2\,(0{,}0524 + q_{5-4})^3}} + \sqrt[5]{\frac{419^6}{4\,(0{,}0048 + q_{5-4})^3}} = \sqrt[5]{\frac{885^6}{6\,(0{,}0449 + q_{5-4})^3}};$$

это уравненіе удовлетворяется при $q_{5-4} = 0{,}0121$.

Такимъ образомъ мы пришли къ слѣдующимъ результатамъ:

$$q_{1-2} = 0{,}0138;\ q_{1-4} = 0{,}0325 - 0{,}0121 = 0{,}0204;\ q_{1-5} = 0{,}0121 + 0{,}0476 = 0{,}0597$$
$$q_{5-4} = 0{,}0121;\ q_{5-2} = 0{,}0074;\ q_{5-3} = 0{,}0090;\ q_{4-3} = 0;\ q_{2-3} = 0.$$

Отсюда получаются слѣдующія величины отношеній:

$$\frac{q_{1-2}}{Q_{1-2}} = \frac{0{,}0138}{0{,}0117} = 1{,}2;\ \frac{q_{1-4}}{Q_{1-4}} = \frac{0{,}0204}{0{,}0225} = 0{,}9;\ \frac{q_{1-5}}{Q_{1-5}} = \frac{0{,}0597}{0{,}0088} = 6{,}8;\ \frac{q_{5-4}}{Q_{5-4}} = \frac{0{,}0121}{0{,}0087} = 1{,}4;$$

$$\frac{q_{5-3}}{Q_{5-3}} = \frac{0{,}0090}{0{,}0125} = 0{,}7;\ \frac{q_{5-2}}{Q_{5-2}} = \frac{0{,}0074}{0{,}0100} = 0{,}7;\ \frac{q_{4-3}}{Q_{4-3}} = \frac{q_{2-3}}{Q_{2-3}} = 0.$$

Этимъ значеніямъ, согласно вышеприведенной таблицѣ, соотвѣтствуютъ величины:

$$\alpha_{1-2} = 0{,}525;\ \alpha_{1-4} = 0{,}530;\ \alpha_{1-5} = 0{,}506;\ \alpha_{5-4} = 0{,}522;$$
$$\alpha_{5-2} = 0{,}534;\ \alpha_{5-3} = 0{,}534;\ \alpha_{2-3} = 0{,}577;\ \alpha_{4-3} = 0{,}577.$$

Такимъ образомъ, согласно ур. 40)—47) получаемъ діаметры трубъ:

$$D_{1-2} = 0{,}161;\ D_{1-4} = 0{,}208;\ D_{1-5} = 0{,}293;\ D_{5-4} = 0{,}147;$$
$$D_{5-2} = 0{,}137;\ D_{5-3} = 0{,}133;\ D_{2-3} = 0{,}131;\ D_{4-3} = 0{,}169.$$

Принимая для вычисленія стоимости сѣти $m = 100$ [1]), получаемъ общую стоимость при діаметрахъ, найденныхъ нами въ примѣрѣ 1,

$$K_1 = 100\,(645 \cdot 0{,}183 + 885 \cdot 0{,}236 + 421 \cdot 0{,}251 + 0{,}419 \cdot 0{,}107 + 480 \cdot 0{,}114 + 600 \cdot 0{,}110 + \\ + 1080 \cdot 0{,}179 + 900 \cdot 0{,}145) = 92193{,}90.$$

Для только что найденныхъ значеній діаметровъ получается общая стоимость сѣти:

$$K_2 = 100\,(421 \cdot 0{,}161 + 885 \cdot 0{,}208 + 421 \cdot 0{,}293 + 419 \cdot 0{,}147 + 480 \cdot 0{,}137 + 600 \cdot 0{,}133 + \\ + 1080 \cdot 0{,}169 + 900 \cdot 0{,}131) = 89105{,}10.$$

---

[1]) $m = 100$ означаетъ, что на каждый метръ діаметра трубы въ свѣту общая стоимость трубопровода, какъ то: земляныя работы по откопкѣ и засыпкѣ, укладка и соединеніе трубъ, исправленіе мостовой, а также установленныя въ сѣти машинныя части, составляетъ 100 марокъ (50 рублей). При среднихъ современныхъ цѣнахъ, какъ въ Германіи, это значеніе можетъ быть принято, какъ приблизительное. Въ зависимости отъ различныхъ мѣстныхъ условій это значеніе увеличивается или уменьшается.

Такимъ образомъ, придерживаясь наименьшей стоимости устройства сѣти, получаемъ теоретическое сбереженіе около $3^1/_2{}^0/_0$.

Въ практикѣ при діаметрахъ, округленныхъ соотвѣтственно встрѣчающимся въ торговлѣ калибрамъ, стоимость получилась бы:

$$K_1 = 100\,(645\,.\,0{,}275 + 885\,.\,0{,}250 + 1725\,.\,0{,}200 + 900\,.\,0{,}175 + 4499\,.\,0{,}125) = 102690{,}00.$$

Если соотвѣтствующіе наименьшей стоимости размѣры трубъ округлить и привести къ встрѣчающимся въ торговлѣ размѣрамъ, то получаемъ:

$$D_{1-2} = 0{,}175;\ D_{1-4} = 0{,}225;\ D_{1-5} = 0{,}300;\ D_{5-4} = 0{,}150;$$
$$D_{5-2} = 0{,}150;\ D_{5-3} = 0{,}150;\ D_{2-3} = 0{,}150;\ D_{4-3} = 0{,}175.$$

Въ этомъ случаѣ получится стоимость:

$$K_2 = 100\,(421\,.\,0{,}300 + 885\,.\,0{,}225 + 1725\,.\,0{,}175 + 2399\,.\,0{,}150) = 98715{,}00.$$

Такимъ образомъ разсчетъ по наименьшей стоимости въ практикѣ даетъ сбереженіе около $4^0/_0$.

Въ разсматриваемомъ случаѣ обстоятельства складываются еще благопріятнѣе въ томъ отношеніи, что получаются болѣе однообразные діаметры трубъ, нежели въ примѣрѣ 1.

Если при опредѣленіи наименьшей стоимости мы руководствовались-бы уравненіями 28) и 29) вмѣсто ур. 60) и 61), то прежде всего по ур. 28) получили бы

$$\frac{(0{,}0100^2 + 3\,.\,0{,}01\,.\,q_{5-2} + 3\,q_{5-2}{}^2)^4}{(0{,}0117^2 + 3\,.\,0{,}0117\,.\,q_{1-2} + 3\,q_{1-2}{}^2)^4} = \frac{6\,.\,480^6\,(3.0{,}01 + 6\,.\,q_{5-2})^5}{4\,.\,645^6\,(3\,.\,0{,}0117 + 6\,.\,q_{1-2})^5}.$$

Этому уравненію удовлетворяютъ значенія $q_{5-2} = 0{,}0072$ и $q_{1-2} = 0{,}0212 - q_{5-2} = 0{,}0140$.

Такъ какъ $q_{5-3} = 0{,}0090$, то, опредѣляя по этимъ новымъ значеніямъ величины q_{1-4} и q_{5-4}, получимъ

$$q_{1-4} = 0{,}0325 - q_{5-4};\ q_{1-5} = q_{5-4} + 0{,}0072 + 0{,}0090 + 0{,}0312 = 0{,}0474 + q_{5-4}.$$

При этихъ значеніяхъ ур. 29) будетъ

$$\sqrt[5]{\frac{421^6\,.\,(0{,}3108 + 6\,.\,q_{5-4})^5}{2\,(0{,}0081 + 0{,}3108\,.\,q_{5-4} + 3\,q_{5-4}{}^2)^4}} + \sqrt[5]{\frac{419^6\,.\,(0{,}0261 + 6\,.\,q_{5-4})^5}{4\,(0{,}0001 + 0{,}0261\,.\,q_{5-4} + 3\,q_{5-4}{}^2)^4}} =$$
$$= \sqrt[5]{\frac{885^6\,.\,(0{,}2625 - 6\,.\,q_{5-4})^5}{6\,(0{,}0059 - 0{,}2625\,.\,q_{5-4} + 3\,q_{5-4}{}^2)^4}}.$$

Этому уравненію удовлетворяетъ значеніе $q_{5-4} = 0{,}0114$.

Такимъ образомъ мы теперь получаемъ результаты:

$$q_{1-2} = 0{,}0140;\ q_{1-4} = 0{,}0325 - 0{,}0114 = 0{,}0211;\ q_{1-5} = 0{,}0114 + 0{,}0476 = 0{,}0590;\ q_{5-4} = 0{,}0114$$
$$q_{5-2} = 0{,}0072;\ q_{5-3} = 0{,}0090;\ q_{4-3} = 0;\ q_{2-3} = 0.$$

Если по этимъ значеніямъ опредѣлить діаметры трубъ въ свѣту по ур. 1)—8), то получается (при $\lambda = 0{,}0025$, какъ и прежде):

$$D_{1-2} = \sqrt{0{,}0025\,.\,\frac{645}{6}\left(\frac{0{,}0117^2}{3} + 0{,}0117\,.\,0{,}0140 + 0{,}0140^2\right)} = 0{,}161,$$

и анологичными же вычисленіями получаемъ:

D_{1-4}=0,209; D_{1-5}=0,292; D_{5-4}=0,146; D_{5-2}=0,136; D_{5-3}=0,133; D_{4-3}=0,169; D_{2-3}=0,132.

Разница противъ вышенайденныхъ значеній нигдѣ не превышаетъ 1 миллиметра. Отсюда мы ясно видимъ, что приблизительный способъ, примѣненный принятымъ нами путемъ, даетъ достаточно точные результаты. Поэтому мы въ дальнѣйшемъ будемъ исключительно примѣнять этотъ способъ.

3. Примѣръ. При условіяхъ, одинаковыхъ съ условіями въ примѣрѣ 1, требуется опредѣлить діаметры трубъ, если во время расхода воды наибольшая скорость въ трубахъ не должна превышать 1 метра въ секунду.

Изъ уравненій 70)—77), принимая $\lambda = 0{,}0025$, и $a_{1-2} = a_{1-4} = \ldots\ldots = 0{,}55$, получаемъ

$$q_{1-2} = \frac{3{,}14}{4}\left[\frac{0{,}0025\,.\,645\,.\,(0{,}55\,.\,0{,}0117 + q_{1-2})^2}{6}\right]^{\frac{5}{2}} - 0{,}0117,$$

. . . . . .

$$q_{4-3} = \frac{3{,}14}{4}\left[\frac{0{,}0025\,.\,1080\,(0{,}55\,.\,0{,}0275 + q_{4-3})^2}{6}\right]^{\frac{5}{2}} - 0{,}0275.$$

Этимъ уравненіямъ удовлетворяютъ только отрицательныя значенія q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5} и т. д. Такимъ образомъ, для полученія при данномъ направленіи движенія скорости въ 1 метръ или менѣе, принятыя въ примѣрѣ 1 паденія H_{1-2}, H_{1-4}, H_{1-5} и т. д. во всякомъ случаѣ слишкомъ велики.

Если попытаемся выбрать высоты напора или паденія H_{1-2}, H_{1-4}, H_{1-5} и т. д. такимъ образомъ, чтобы ни въ какомъ участкѣ трубопровода скорость не превышала 1 метра въ секунду, и чтобы общая стоимость сѣти была бы по возможности мала, то сперва необходимо опредѣлить соотвѣтствующія этимъ условіямъ значенія q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5} и т. д.

По ур. 81) находимъ

$$\frac{645}{\sqrt{0{,}0117 + q_{1-2}}} = \frac{480}{\sqrt{0{,}0100 + q_{5-2}}}, \text{ т. е. } q_{5-2} = 0{,}5538 \cdot q_{1-5} - 0{,}0035.$$

Соединяя это значеніе съ ур. 9), и принимая, какъ и выше, $q_{2-3} = q_{4-3} = q_{5-3} = 0{,}0090$, получаемъ

$$q_{1-2} + 0{,}5538 \cdot q_{5-2} - 0{,}0035 - 0{,}0212 = 0\,;\ q_{1-2} = 0{,}0159,\ q_{5-2} = 0{,}0053.$$

Затѣмъ изъ ур. 10) и 11) получаемъ

$$q_{1-4} = 0{,}0325 - q_{5-4}\,;\ q_{1-5} = 0{,}0455 + q_{5-4},$$

а по этимъ значеніямъ изъ ур. 82) получаемъ

$$\frac{421}{\sqrt{0{,}0543 + q_{5-4}}} + \frac{419}{\sqrt{0{,}0087 + q_{5-4}}} = \frac{885}{\sqrt{0{,}0225 - q_{5-4}}}.$$

Этому уравненію удовлетворяетъ значеніе $q_{5-4} = 0{,}0140$. Такимъ образомъ по ур. 9), 10), 11) и 12) мы теперь получаемъ

$$q_{1-2} = 0{,}0159\,;\ q_{1-4} = 0{,}0185\,;\ q_{1-5} = 0{,}0595\,;\ q_{5-4} = 0{,}0140\,;$$
$$q_{5-2} = 0{,}0053\,;\ q_{2-3} = 0{,}0000\,;\ q_{5-3} = 0{,}0090\,;\ q_{4-3} = 0{,}0000.$$

По этимъ значеніямъ уравненія 62)—69) даютъ намъ величины діаметровъ, соотвѣтствующихъ наибольшей скорости $U_m = 1$ метр.:

$$D_{1-2} = 0{,}187\,;\ D_{1-4} = 0{,}229\,;\ D_{1-5} = 0{,}295\,;\ D_{5-4} = 0{,}170\,;$$
$$D_{5-2} = 0{,}139\,;\ D_{2-3} = 0{,}144\,;\ D_{5-3} = 0{,}165\,;\ D_{4-3} = 0{,}187.$$

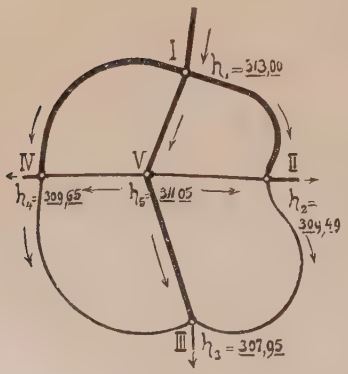
При этихъ діаметрахъ ур. 32)—39) даютъ намъ:

$$H_{1-2} = 3{,}51\,;\ H_{1-4} = 3{,}35\,;\ H_{1-5} = 1{,}95\,;\ H_{5-4} = 2{,}61\,;$$
$$H_{5-2} = 2{,}70\,;\ H_{2-3} = 2{,}88\,,\ H_{5-3} = 3{,}10\,;\ H_{4-3} = 2{,}69.$$

Складывая соотвѣтственно эти величины, получаемъ:

$$H_{1-2} + H_{2-3} = 6{,}39\,;\ H_{1-5} + H_{5-3} = 5{,}05\,;\ H_{1-4} + H_{4-3} = 6{,}04.$$

Для того, чтобы скорость не превышала 1 метр. въ секунду, паденіе должно быть выбрано по наименьшей изъ полученныхъ суммъ. Поэтому рабочая высота напора въ точкѣ III (фиг. 377) должна быть сдѣлана 313 — 5,05 = 307,95 метр. надъ уровнемъ моря. Затѣмъ имѣемъ



Фиг. 377.

$$H_{1-5} + H_{5-4} = 4{,}56\,;\ H_{1-5} + H_{5-2} = 4{,}65\,;$$
$$H_{1-4} = 3\,35\,;\ H_{1-2} = 3{,}51.$$

Наибольшія значенія величинъ H_{1-4} и H_{5-2} при сохраненіи скорости въ 1 метр. ограничены найденными послѣдними числами. Но при этомъ необходимо должно быть

$$H_{1-4} = H_{1-5} + H_{5-4}\,;\ H_{1-2} = H_{1-5} + H_{5-2}.$$

Поэтому необходимо величины H_{5-4} и H_{5-2} уменьшить до значеній:

$$H_{5-4} = 3{,}35 - 1{,}95 = 1{,}40 \text{ и } H_{5-2} = 3{,}51 - 1{,}95 = 1{,}56.$$

При этомъ высоты напора въ точкахъ II и IV, считая отъ уровня моря, составляютъ соотвѣтственно 311,05 — 1,40 = 309,65 и 311,05 — 1,56 = 309,49 метр.

На участкахъ I—V, I—IV, I—II и IV—III высоты напора и діаметры имѣютъ вышеприведенныя значенія. Наибольшая скорость въ началѣ каждаго, обозначеннаго на фиг. 377 толстой линіей, участка составляетъ 1 метръ.

На участкахъ-же V—IV, V—II, IV—III и V—III, наоборотъ, для того, чтобы найденная высота напора была достаточна для провода упомянутыхъ количествъ воды, діаметры трубъ

должны быть увеличены. Поэтому въ началѣ каждаго изъ этихъ участковъ получается скорость, меньшая 1 метра. Діаметры трубъ опредѣляются по ур. 44)—47) и составляютъ:

$$D_{5-4} = 0{,}193\,;\ D_{5-2} = 0{,}155\,;\ D_{4-3} = 0{,}205\,;\ D_{2-3} = 0{,}163.$$

Скорость въ началѣ отдѣльныхъ участковъ будетъ:

$$U_{5-4} = 0{,}77\,;\ U_{5-2} = 0{,}81\,;\ U_{4-3} = 0{,}83\,;\ U_{2-3} = 0{,}77.$$

Если желательно привести найденные діаметры къ встрѣчающимся въ торговлѣ калибрамъ, то, очевидно, здѣсь до нѣкоторой степени существуетъ произволъ.

При увеличеніи діаметровъ до соотвѣтствующихъ встрѣчаемымъ въ продажѣ діаметрамъ слѣдуетъ принять:

$$D_{1-5} = 0{,}300\,,\ D_{1-4} = 0{,}250\,;\ D_{1-2} = 0{,}200\,;\ D_{3-3} = 0{,}175\,;$$
$$D_{5-4} = 0{,}200\,,\ D_{5-2} = 0{,}175\,;\ D_{2-3} = 0{,}175\,;\ D_{4-2} = 0{,}225\,.$$

Такъ какъ при этихъ діаметрахъ получается совершенно новая сѣть, опредѣляющая собой распредѣленіе воды, то само собой возникаетъ вопросъ, не превышаетъ-ли въ какомъ-либо пунктѣ скорость воды значенія 1 метр. Для рѣшенія этого вопроса необходимо произвести новое изслѣдованіе, которое въ общемъ видѣ произведено въ слѣдующемъ примѣрѣ.

4. Примѣръ. Сѣть трубъ имѣетъ округленные въ концѣ предыдущаго примѣра діаметры. Количества распредѣляемой по отдѣльнымъ участкамъ воды одинаковы съ приведенными въ примѣрѣ 1. Требуется опредѣлить необходимыя для этого водораспредѣленія высоты напора или высоты напора, являющіяся въ точкахъ пересѣченія.

Прежде всего основныя уравненія 9)—12), найденныя нами въ примѣрѣ 2 для опредѣленія количествъ воды, здѣсь будутъ:

1) $q_{1-2} + q_{5-2} - q_{2-3} - 0{,}0212 = 0\,;$ 3) $q_{1-5} - q_{5-4} - q_{5-2} - q_{5-3} - 0{,}0312 = 0\,;$
2) $q_{1-4} + q_{5-4} - q_{4-3} - 0{,}0325 = 0\,;$ 4) $q_{4-3} + q_{5-3} + q_{2-3} - 0{,}0090 = 0\,.$

Затѣмъ зависимость между отдѣльными участками даетъ намъ еще 4 условія:

5) $H_{1-5} + H_{5-2} - H_{1-2} = 0\,;$ 7) $H_{5-2} + H_{2-3} - H_{5-3} = 0\,;$
6) $H_{1-5} + H_{5-4} - H_{1-4} = 0\,;$ 8) $H_{5-4} + H_{4-3} - H_{5-3} = 0\,.$

Въ этихъ 8 уравненіяхъ неизвѣстны 8 величинъ: q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5} и т. д. Величины-же H_{1-2}, H_{1-4}, H_{1-5} и т. д. могутъ быть подставлены изъ ур. 32)—39), т. е. могутъ быть выражены извѣстными величинами и величинами: q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5} и т. д. Сперва получаемъ:

$$\frac{0{,}0025 \cdot 421}{0{,}300^5}\,(0{,}55 \cdot 0{,}0088 + q_{1-5})^2 + \frac{0{,}0025 \cdot 480}{0{,}175^5}\,(0{,}55 \cdot 0{,}0100 + q_{5-2})^2 -$$
$$- \frac{0{,}0025 \cdot 645}{0{,}200^5}\,(0{,}55 \cdot 0{,}0117 + q_{1-2})^2 = 0\,.$$

Совершенно анологичнымъ-же путемъ составляются и другія соотвѣтственныя уравненія, и послѣ производства вычисленій получаемъ систему уравненій:

5a) $(0{,}0064 + q_{1-2})^2 = 0{,}0860\,.\,(0{,}0048 + q_{1-5})^2 + 1{,}4509\,.\,(0{,}0055 + q_{5-2})^2\,;$
6a) $(0{,}0124 + q_{1-4})^2 = 0{,}1912\,.\,(0{,}0048 + q_{1-5})^2 + 1{,}1449\,.\,(0{,}0048 + q_{5-4})^2\,;$
7a) $(0{,}0069 + q_{5-3})^2 = 0{,}8000\,.\,(0{,}0055 + q_{5-2})^2 + 1{,}5000\,.\,(0{,}0089 + q_{2-3})^2\,;$
8a) $(0{,}0069 + q_{5-3})^2 = 0{,}3582\,.\,(0{,}0048 + q_{5-4})^2 + 0{,}5123\,.\,(0{,}0151 + q_{4-3})^2\,,$

помощью которыхъ эта задача можетъ быть рѣшена путемъ пробныхъ вычисленій.

Изъ ур. 7a) и 8a) получаемъ:

7b) $q_{5-2} = \sqrt{1{,}2500\,.\,(0{,}0069 + q_{5-3})^2 - 1{,}8750\,.\,(0{,}0089 + q_{2-3})^2} - 0{,}0055\,;$
8b) $q_{5-4} = \sqrt{2{,}7919\,.\,(0{,}0069 + q_{5-3})^2 - 1{,}4304\,.\,(0{,}0151 + q_{2-2})^2} - 0{,}0048\,.$

Такъ какъ ур. 4) выражаетъ собой зависимость между величинами q_{5-3}, q_{4-3} и q_{2-3}, то задачу можно рѣшить, принимая на пробу какое нибудь значеніе для q_{5-3} и вычисляя значенія q_{5-2} и q_{5-3}, которыя подставляются въ ур. 5a) и 6a) послѣ опредѣленія соотвѣтственныхъ величинъ q_{1-2}, q_{1-4} и т. д. помощью ур. 1), 2) и 3).

Измѣняя въ ур. 7b) и 8b) значеніе величины q_{5-3} между 0,0085 и 0,0080, получаемъ каждый разъ для $q_{4-3} = 0$ и для $q_{2-3} = 0$ значенія q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5}, q_{5-2}, q_{5-4}, приведенныя въ прилагаемой таблицѣ. Изъ этихъ значеній слѣдуетъ выбрать тѣ, которыя удовлетворяютъ ур. 5a) и 5b).

$q_{5-3} =$	$q_{5-2} =$		$q_{5-4} =$		$q_{1-2} =$		$q_{1-4} =$		$q_{1-5} =$	
	при $q_{4-3}=0$	при $q_{2-3}=0$	при $q_{4-3}=0$	при $q_{2-3}=0$	при $q_{4-3}=0$	при $q_{2-3}=0$	при $q_{4-3}=0$	при $q_{2-3}=0$	при $q_{4-3}=0$	при $q_{2-3}=0$
0,0085	0,0059	0,0067	0,0135	0,0129	0,0158	0,0145	0,0190	0,0201	0,0591	0,0593
0,0084	0,0056	0,0065	0,0133	0,0125	0,0163	0,0147	0,0192	0,0206	0,0585	0,0586
0,0083	0,0053	0,0064	0,0130	0,0122	0,0166	0,0148	0,0195	0,0210	0,0578	0,0581
0,0082	0,0050	0,0062	0,0128	0,0118	0,0170	0,0150	0,0197	0,0215	0,0572	0,0574
0,0081	0,0046	0,0060	0,0126	0,0114	0,0175	0,0152	0,0199	0,0220	0,0565	0,0567
0,0080	0,0042	0,0057	0,0124	0,0110	0,0180	0,0155	0,0201	0,0225	0,0558	0,0559

Примѣненіе табличныхъ значеній въ приведенныхъ уравненіяхъ показываетъ намъ, что для $q_{5-3} = 0{,}0081$ получаются положительные и отрицательные остатки, мѣняющіе свой знакъ надъ точкой скрещенія, въ зависимости отъ того, принимаемъ ли $q_{4-3} = 0$ или $q_{2-3} = 0$. Поэтому можно принять

$$q_{5-3} = 0{,}0081; \qquad q_{2-3} = 0{,}0004; \qquad q_{4-3} = 0{,}0005$$

и путемъ интерполяціи изъ предыдущей таблицы получаемъ значенія:

$$q_{5-2} = 0{,}0046 + 5 \cdot \left(\frac{0{,}0060 - 0{,}0046}{9}\right) = 0{,}0054;$$

$$q_{5-4} = 0{,}0126 - 5 \cdot \left(\frac{0{,}0126 - 0{,}0114}{9}\right) = 0{,}0119;$$

$$q_{1-2} = 0{,}0175 - 5 \cdot \left(\frac{0{,}0175 - 0{,}0152}{9}\right) = 0{,}0162;$$

$$q_{1-4} = 0{,}0199 + 5 \cdot \left(\frac{0{,}0220 - 0{,}0199}{9}\right) = 0{,}0211;$$

$$q_{1-5} = 0{,}0565 + 5 \cdot \left(\frac{0{,}0567 - 0{,}0565}{9}\right) = 0{,}0566.$$

Подставляя эти значенія въ ур. 5a) и 6a), получаемъ

5b) $0{,}0226^2 = 0{,}0860 \cdot 0{,}0614^2 + 1{,}4509 \cdot 0{,}0109^2$, т. е. $0{,}000511 = 0{,}000324 + 0{,}000172$;
6b) $0{,}0335^2 = 0{,}1912 \cdot 0{,}0614^2 + 1{,}4449 \cdot 0{,}0167^2$, т. е. $0{,}001122 = 0{,}000721 + 0{,}000403$.
Разница составляетъ при 5b): + 0,000015, а при 6b) — 0,000002.

Такимъ образомъ теперь изъ ур. 32) волучаемъ

$$H_{1-2} = \frac{0{,}0025 \cdot 645 \cdot (0{,}0064 + 0{,}0162)^2}{0{,}200^5} = 2{,}57 \text{ метр.}$$

Аналогично съ этимъ изъ ур. 33)—39) получаемъ

$$H_{1-4} = 2{,}54; \; H_{1-5} = 1{,}63; \; H_{5-4} = 0{,}91; \; H_{5-2} = 0{,}87; \; H_{4-3} = 1{,}14;$$
$$H_{5-3} = 2{,}06; \; H_{2-3} = 1{,}19.$$

Взявши суммы $H_{1-4} + H_{4-3}$, $H_{1-5} + H_{5-3}$, $H_{1-2} + H_{2-3}$, получаемъ приблизительно одинаковыя числа. Небольшія разницы получаются потому, что количества воды опредѣляются съ точностью только до десятыхъ долей литра. [1])

[1]) Болѣе точные результаты получаются отъ подстановки $q_{2-3}=0{,}00035$ и $q_{4-3}=0{,}00055$.

Подобныя вычисленія всегда слѣдуетъ производить указаннымъ путемъ; приведенная таблица обезпечиваетъ отъ ошибокъ вычисленій.

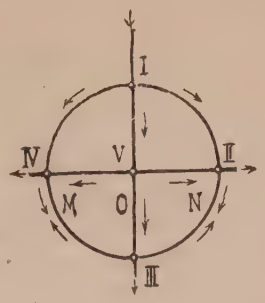
При скорости воды по трубамъ въ 1 метръ отдѣльные участки или вѣтви трубопровода могутъ доставлять количества воды M, приведенныя въ нижеслѣдующей таблицъ, между тѣмъ какъ въ дѣйствительности они, въ началѣ участка должны пропускать количества воды обозначенныя въ таблицѣ черезъ V.

	I _ II	I—IV	I—V	V—IV	V—II	II—III	V—III	IV—III
$D =$	0,200	0,250	0,300	0,200	0,175	0,175	0,175	0,225
$M =$	0,0314	0,0491	0,0707	0,0314	0,0241	0,0241	0,0241	0,0398
$V =$	0,0279	0,0436	0,0654	0,0206	0,0146	0,0166	0,0206	0,0280
$U = \frac{V}{M}$	0,89	0,89	0,92	0,66	0,61	0,69	0,85	0,70

Отсюда мы видимъ, что въ разсмотрѣнной нами задачѣ скорости въ трубопроводахъ $U = \frac{V}{M}$ значительно меньше 1 метра (ср. примѣръ 3).

Во всѣхъ приведенныхъ нами до сихъ поръ формулахъ и вычисленіяхъ мы принимали, что теченіе воды въ питаемой съ одной стороны трубной сѣти должно происходить по впередъ опредѣленному направленію, какъ это и необходимо при составленіи проектовъ и проч. При этомъ было предположено, что отъ одной до другой точки скрещенія рабочая высота напора убываетъ по направленію стрѣлки. Но при исключительно большихъ расходахъ на пути въ точкахъ M, N, O и т. д. (напр. для гидрантовъ, при лопаніи трубъ и проч.), можетъ случиться, что въ сѣти трубъ данныхъ діаметровъ равномѣрно расходуемая въ трубопроводѣ и въ отдѣльныхъ пунктахъ M, N, O вода притекаетъ въ нее съ двухъ сторонъ (по противоположнымъ направленіямъ). Тогда являются условія:

$$Q_{4-3} = q_{4-m} + q_{3-m},\ Q_{5-3} = q_{5-0} + q_{3-0};\ Q_{2-3} = q_{2-n} + q_{3-n}$$ и т. д.



Фиг. 378.

Величины H_{4-3}, H_{5-3}, H_{2-3} и т. д. слишкомъ малы для возможности упомянутыхъ расходовъ воды при безпрерывномъ уменьшеніи рабочей высоты напора и существующемъ діаметрѣ трубъ на данномъ участкѣ. Поэтому рабочія высоты напора въ точкахъ M, N и O понижаются настолько, что притокъ дѣлается возможнымъ съ двухъ сторонъ, т. е. получается $h_m < h_4$, $h_m < h_3$ и т. д.

Для рѣшенія вопроса объ условіяхъ, которыя должны имѣть мѣсто при расходованіи въ какомъ нибудь мѣстѣ O значительнаго количества воды q_0, прежде всего необходимо вычислить рабочую высоту напора c въ этомъ мѣстѣ по способу, изложенному ниже (см. отд. IV, гл. 17) [1].

[1]) Относительно результатовъ вычисленій совершенно безразлично, установлены-ли въ V или III резервуары, или же рабочія высоты напора здѣсь подымаются до h_5 или h_3 (ср. фиг. 396).

Получаемыя изъ V и III количества воды q_{5-0} и q_{3-0} опредѣляются по приведеннымъ ниже (отд. IV гл. 17) уравненіямъ 3) и 4) подстановкой $H = h_5 - h_3$; точно также помощью приведеннаго тамъ ур. 5) можно опредѣлить рабочую высоту напора c въ точкѣ O, подставивъ вмѣсто h_1 значеніе h_5 и вмѣсто H величину $h_5 - h_3$. Равномѣрно распредѣленнымъ расходомъ на участкѣ V—III можно въ данномъ случаѣ пренебречь, или-же этотъ расходъ можетъ быть приведенъ къ эквивалентному сосредоточенному въ O расходу.

Измѣняя общія уравненія 9), 10), 11) и 12) соотвѣтственно даннымъ особымъ условіямъ, получаемъ:

83) $q_{1-2} + q_{5-2} - q_{2-3} - Q_{2-3} = 0$
84) $q_{1-4} + q_{5-4} - q_{4-3} - Q_{4-3} = 0$
85) $q_{1-5} + q_{5-2} - q_{5-4} - q_{5-0} - Q_{5-4} - Q_{5-2} = 0$
86) $q_{4-3} + q_{5-0} + q_{2-3} - q_{3-0} = 0$
87) $q_{5-0} + q_{3-5} - q_0 = 0.$

Вмѣстѣ съ тѣмъ получаются условія:

88) $H_{1-5} + H_{5-2} - H_{1-2} = 0$
89) $H_{1-5} + H_{5-4} - H_{1-4} = 0$
90) $H_{5-2} + H_{2-3} - H_{5-3} = 0$
91) $H_{5-4} + H_{4-3} - H_{5-3} = 0$
92) $H_{5-3} = h_5 - h_3 = \dfrac{\lambda L_{5-3} [q_{5-0}^2 - (q_0 - q_{3-0})^2]}{D_{5-3}^5}.$

Помощью этихъ уравненій поставленная нами задача вполнѣ разрѣшается, если только при этомъ соблюдены условія, выражаемыя уравненіями 32) — 39). Рѣшеніе задачи приводитъ къ совершенно аналогичнымъ вычисленіямъ, какія мы приводили выше въ примѣрѣ 3, и поэтому мы здѣсь не будемъ приводить примѣра этихъ вычисленій.

2. Питаніе трубной сѣти съ нѣсколькихъ сторонъ.

Если питаніе трубной сѣти происходитъ съ нѣсколькихъ сторонъ то соображенія для опредѣленія діаметровъ трубъ упрощаются. Прежде всего при этомъ необходимо, чтобы уровни воды въ резервуарахъ (или эквивалентныхъ имъ сооруженіяхъ) находились на извѣстныхъ взаимныхъ разстояніяхъ для возможности правильнаго наполненія. Этимъ условіемъ, а также и дальнѣйшимъ условіемъ, что всѣ уровни должны имѣть высоту надъ уровнемъ моря, большую требуемой рабочей высоты напора при наибольшемъ расходѣ въ сѣти, обыкновенно безъ затрудненія опредѣляются размѣры главныхъ проводовъ. Остается затѣмъ только путемъ пробныхъ вычисленій опредѣлить діаметры трубъ въ остальныхъ частяхъ сѣти при наибольшемъ въ нихъ расходѣ для повсемѣстнаго въ сѣти удовлетворенія требованію относительно рабочей высоты напора. При этомъ необходимо должны быть удовлетворены различныя побочныя условія, какъ напр. чтобы при прекращеніи притока къ одному или нѣсколькимъ резервуарамъ водоснабженіе производилось-бы остальными резервуарами, и т. п. Такимъ образомъ въ практикѣ можетъ встрѣтиться безчисленное множество самыхъ разнообразныхъ расположеній подобныхъ водоснабженій, и мы здѣсь можемъ разсматривать только нѣсколько главныхъ случаевъ.

Наиболѣе часто встрѣчаемый и относящійся сюда случай будетъ тотъ, когда питаніе сѣти производится непосредственно отъ насоса P (фиг. 379), и напорный резервуаръ R расположенъ за сѣтью.

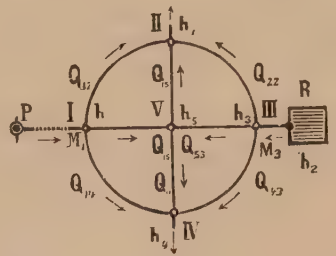
При самомъ невыгодномъ случаѣ подобнаго расположенія системы, когда напорный резервуаръ не работаетъ, и питаніе сѣти производится съ одной только стороны помощью насоса, или обратно, когда питаніе сѣти происходитъ только помощью резервуара, всѣ вычисленія будутъ производиться такъ, какъ указано выше. Для односторонняго питанія помощью насоса необходимо должны быть удовлетворены предварительныя условія:

$h_1 > h_2$, $h_1 > h_5$, $h_1 > h_4$, $h_2 > h_3$, $h_5 > h_3$, $h_4 > h_3$, $h_3 \gtrless h_2$.

Въ обратномъ случаѣ, т. е. при односторонненъ питаніи помощью резервуара, условія будутъ:

$h_2 > h_3$, $h_3 > h_2$, $h_3 > h_5$, $h_3 > h_4$, $h_2 > h_1$, $h_5 > h_1$, $h_4 > h_1$.

Поэтому мы здѣсь на этихъ двухъ случаяхъ останавливаться не будемъ.



Фиг. 379.

Но эти приведенные случаи представляютъ собой случаи исключительные, наступленіе которыхъ какъ разъ въ день наибольшаго потребленія и во время наибольшаго часового расхода едва-ли вѣроятно, а потому они и не могутъ быть приняты въ разсчетъ.

Обыкновенно можетъ случиться, что въ день наибольшаго потребленія одна половина наибольшаго часового расхода доставляется въ сѣть прямо насосами, а другая половина—резервуаромъ. Согласно приведенныхъ въ гл. 2 отд. III основныхъ соображеній трубопроводъ между насосомъ и резервуаромъ долженъ имѣть такіе размѣры, которые соотвѣтствуютъ наименьшей начальной стоимости и наименьшей стоимости обслуживанія. Такимъ образомъ вычисленные по этимъ соображеніямъ діаметры трубъ D или соотвѣтственно величины $D_{p\ 1} = D_{1-5} = D_{5-3} = D_{3-r} = D$ могутъ считаться извѣстными. Если обозначимъ количество воды, доставляемой насосомъ, черезъ M_1, а доставляемой резервуаромъ—черезъ M_3, то прежде всего должно быть удовлетворено условіе:

1) $M_1 + M_3 = q_2 + q_4 + Q_{1-2} + Q_{1-5} + Q_{1-4} + Q_{5-2} + Q_{5-4} + Q_{2-3} + Q_{5-3} + Q_{4-3}$.

Величина M_1 обыкновенно опредѣляется по нормальной производительности насоса. Если въ день наибольшаго потребленія втеченіе промежутка времени B секундъ расходъ составляетъ N куб. метр., то среднее количество воды, равномѣрно доставляемой насосами въ 1 секунду, будетъ

$$M_1 = \frac{N}{B}.$$

Втеченіе періода наибольшаго часового расхода въ день наибольшаго потребленія для удовлетворенія потребности водоснабженія требуется количество воды, превышающее нормальное среднее количество. Такимъ образомъ получается соотношеніе:

$$\mu N = 86400 (M_1 + M_3) \text{ и } N = \frac{86400 (M_1 + M_3)}{\mu},$$

гдѣ μ колеблется въ предѣлахъ, приведенныхъ нами выше (см. гл. 1 отд. III), и въ среднемъ можно принять $\mu = 1{,}5$. Такимъ образомъ получаемъ

$$2)\quad M_1 = \frac{86400\,(M_1 + M_3)}{\mu\, B}\,.$$

Опредѣливши величину M_1, нетрудно по ур. 1) опредѣлить дефицитъ воды, который долженъ быть пополненъ резервуаромъ.

Если уровень воды въ резервуарѣ расположенъ на высотѣ h_2 надъ уровнемъ моря, и резервуаръ расположенъ на разстояніи L_3 отъ точки III, то получаемъ еще предварительное условіе для рѣшенія нашей задачи, а именно:

$$3)\quad h_3 = h_r - \frac{\lambda\, M_3^{\,2}\, L_{3-r}}{D^5}\,.$$

Это условіе должно быть удовлетворено a priori.

Кромѣ того существуютъ еще побочныя условія:

$$4)\quad M_1 - Q_{1-2} - Q_{1-5} - Q_{1-4} - q_{1-2} - q_{1-5} - q_{1-4} = 0$$
$$5)\quad M_3 - Q_{3-2} - Q_{3-5} - Q_{3-4} - q_{3-2} - q_{3-5} - q_{3-4} = 0$$
$$6)\quad q_{1-2} + q_{5-2} + q_{2-3} - q_2 = 0$$
$$7)\quad q_{1-4} + q_{5-4} + q_{3-4} - q_4 = 0$$
$$8)\quad D_{1-5} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\,(0{,}55\,.\,Q_{1-5} + q_{1-5})^2 L_{1-5}}{h_1 - h_5}} = D$$
$$9)\quad D_{3-5} = \sqrt[5]{\frac{\lambda\,(0{,}55\,.\,Q_{3-5} + q_{3-5})^2 L_{3-5}}{h_1 - h_5}} = D\,.$$

Уравненія 8) и 9) непосредственно даютъ значенія величинъ q_{2-5} и q_{3-5}, такъ что могутъ быть написаны въ такомъ видѣ:

$$8a)\ q_{1-5} = C;\quad 9a)\ q_{3-5} = C',$$

гдѣ подъ C и C' подразумѣваются постоянныя величины.

Если къ этимъ побочнымъ условіямъ присовокупить еще дальнѣйшія условія, состоящія въ томъ, чтобы при данныхъ условіяхъ сѣть была бы устроена съ наименьшей начальной затратой, то аналогично вышеприведенному и при одинаковыхъ обозначеніяхъ получимъ

$$10)\quad \sqrt[5]{S_{1-2}} - \sqrt[5]{S_{2-3}} = \sqrt[5]{S_{1-4}} - \sqrt[5]{S_{4-3}}\,;$$
$$11)\quad \sqrt[5]{S_{2-3}} - \sqrt[5]{S_{5-2}} = \sqrt[5]{S_{4-3}} - \sqrt[5]{S_{5-4}}\,.$$

При этихъ уравненіяхъ задача является совершенно опредѣленною, такъ какъ число неизвѣстныхъ равно числу уравненій.

Въ большинствѣ случаевъ, при произвольности, до извѣстнаго предѣла, выбора величины h_5, этотъ выборъ производится такъ, чтобы $q_{2-3} = q_{4-3} = 0$. Тогда рѣшеніе этой задачи является весьма простымъ, какъ мы это покажемъ на нижеприведенномъ примѣрѣ.

Примѣръ 5. Въ трубной сѣти длины отдѣльныхъ вѣтвей и цифры расхода на отдѣльныхъ участкахъ одинаковы съ приведенными для примѣра 1, конечно, съ ограниченіемъ $q_3 = 0$. Такимъ образомъ намъ даны

$$\left.\begin{array}{l} Q_{1-2} = 0{,}0117;\ Q_{1-4} = 0{,}0225;\ Q_{5-4} = 0{,}0087;\ Q_{5-3} = 0{,}0125;\ q_2 = 0{,}0050; \\ Q_{1-5} = 0{,}0088;\ Q_{5-2} = 0{,}0100;\ Q_{2-3} = 0{,}0162;\ Q_{4-3} = 0{,}0275;\ q_4 = 0{,}0050; \end{array}\right\}\ \Sigma = 0{,}1279.$$

Въ день наибольшаго потребленія, которому соотвѣтствуютъ эти цифры втеченіи наибольшаго часового расхода, насосная станція находится въ работѣ 22 часа, доставляя такимъ образомъ количество воды

$$M_1 = \frac{86400 \,.\, 0{,}1279}{2 \,.\, 22 \,.\, 3600} = 0{,}0699 \text{ кубич. метр. въ секунду}$$

въ томъ предположеніи, что наибольшій часовой расходъ вдвое больше средняго часового расхода въ день наибольшаго потребленія. Труба, соединяющая насосную станцію съ резервуаромъ, согласно вышеприведенныхъ соображеній (§ 2 отд. III), имѣетъ діаметръ D въ 425 миллим., т. е. вода въ этой трубѣ имѣетъ среднюю скорость 0,49 метр. Разстояніе резервуара отъ точки III пусть будетъ равно 100 метр. Значенія h_3 и h_5, привысотѣ h_2 уровня воды въ резервуарѣ въ 313 метр., немногимъ отличаются отъ вышеприведенной величины, и во всякомъ случаѣ каждая изъ нихъ больше 310 метр. Затѣмъ принимаемъ $h_1 = 313$; $h_2 = 310$; $h_4 = 310$ метр. надъ уровнемъ моря. Требуется опредѣлить размѣры сѣти при условіи наименьшей начальной ея стоимости.

При $M_1 = 0{,}0699$ величина $M_3 = 0{,}1279 - 0{,}0699 = 0{,}0580$ куб. метр. въ секунду. Такимъ образомъ приблизительно значеніе h_3 будетъ

$$h_3 = 313 - \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}0580^2 \,.\, 100}{0{,}425^5} = 313 - 0{,}061 = 312{,}939.$$

При сохраненіи направленій движенія, показанныхъ на ф. 380, побочныя условія могутъ быть написаны слѣдующимъ образомъ:

1) $0{,}0269 - q_{1-2} - q_{1-5} - q_{1-4} = 0,$
2) $0{,}0018 - q_{3-2} - q_{3-5} - q_{3-4} = 0,$
3) $0{,}0050 - q_{1-2} - q_{5-2} - q_{2-3} = 0,$
4) $0{,}0050 - q_{1-4} - q_{5-4} - q_{4-3} = 0,$

5) $$0{,}425 = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \,.\, (0{,}55 \,.\, 0{,}0088 + q_{1-5})^2 \,.\, 421}{313 - h_5}},$$

6) $$0{,}425 = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0125 + q_{5-3})^2 \,.\, 600}{312{,}939 - h_5}}.$$

Фиг. 380.

Значеніе h_5 должно быть задано, а слѣд. его остается еще выбрать; но тѣмъ не менѣе это значеніе произвольно только въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ.

Для полученія положительныхъ результатовъ для различныхъ величинъ q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5} и т. д., согласно ур. 1) должно быть $q_{1-5} < 0{,}0269$. Затѣмъ для удовлетворенія ур. 3) и 4), при положительныхъ значеніяхъ q_{2-5}, q_{5-4}, q_{2-3} и q_{4-3}, величины q_{1-2} и q_{1-4} никогда не должны превышать 0,0050. Такимъ образомъ необходимо также, чтобы $q_{1-5} > 0{,}0169$, такъ что значеніе q_{1-5} можетъ колебаться только между предѣлами 0,0169 и 0,0269.

Такъ какъ при $M_3 = 0{,}0580$ куб. метр. участки II—III, V—III и IV—III должны быть снабжены водой въ количествѣ $0{,}0162 + 0{,}0125 + 0{,}0275 = 0{,}0562$ куб. метр., то величина q_{5-3} въ крайнемъ случаѣ можетъ принять значеніе $0{,}0580 - 0{,}0562 = 0{,}0018$ куб. метр., при чемъ, согласно ур. 2) величины q_{3-3} и q_{4-3} порознь равны нулю.

Разсчитывая теперь по наибольшему значенію q_{1-5} и наибольшему значенію q_{5-3} получаемъ для h_5 слѣдующія значенія:

$$h_5 = 313 - \frac{0{,}0025\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0088 + 0{,}0269)^2 \,.\, 421}{0{,}425^5} = 312{,}924,$$

и

$$h_5 = 312{,}939 - \frac{0{,}0025\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0125 + 0{,}0018)^2 \,.\, 600}{0{,}425^5} = 312{,}931.$$

Принимая $q_{5-3} = 0$, мы аналогично получимъ $h_5 = 312{,}934$, а при возможно наименьшемъ значеніи $q_{1-5} = 0{,}0169$ получится: $h_5 = 312{,}964$. Это послѣднее значеніе h_5 оказывается немыслимой, такъ какъ она ни въ какомъ случаѣ не должна быть больше $h_3 = 312{,}939$. Такимъ образомъ значеніе h_5 должно быть выбрано между 312,931 и 312,939.

При этихъ обстоятельствахъ проще всего будетъ принять $h_5 = 312{,}931$. Этимъ a priori принимается

$$q_{5-3} = 0{,}0018;\ q_{2-3} = 0;\ q_{4-3} = 0,$$

и соотвѣтствующее значеніе q_{1-5} опредѣляется изъ уравненія:

$$q_{1-5} = \sqrt{\frac{(313 - 312{,}931)\,0{,}425^5}{0{,}0025 \,.\, 421}} - 0{,}55 \,.\, 0{,}0088 = 0{,}0254 \text{ куб. метр.}$$

Такимъ образомъ мы опредѣлили 4 неизвѣстныхъ. Для опредѣленія 4-хъ недостающихъ неизвѣстныхъ величинъ мы имѣемъ въ распоряженіи еще ур. 4), 6) и 7), такъ какъ ур. 5), 8) и 9) уже примѣнены нами. Въ данномъ случаѣ эти уравненія будутъ

4a) $0{,}0015 - q_{1-2} - q_{1-4} = 0$; 6a) $0{,}0050 - q_{1-2} - q_{5-2} = 0$; 7a) $0{,}0050 - q_{1-4} - q_{5-4} = 0$.

Если четыре діаметра D_{1-2}, D_{1-4}, D_{5-4} и D_{5-2} должны быть опредѣлены при условіи наименьшей стоимости, то по ур. 10) и 11) получается условіе

$$\sqrt[5]{S_{1-2}} - \sqrt[5]{S_{5-2}} = \sqrt[5]{S_{1-4}} - \sqrt[5]{S_{5-4}},$$

которое вмѣстѣ съ получаемыми изъ ур. 4a), 6a) и 7a) значеніями

$$q_{1-4} = 0{,}0015 - q_{1-2};\ q_{5-2} = 0{,}0050 - q_{1-2};\ q_{5-4} = 0{,}0035 + q_{1-2}$$

даетъ намъ рѣшеніе задачи путемъ нахожденія величины q_{1-2}. Подставляя численныя значенія и пропуская общій множитель $\lambda^{\frac{1}{5}}$, получаемъ

$$\sqrt[5]{\frac{645^6}{3\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0117 + q_{1-2})^3}} - \sqrt[5]{\frac{480^6}{2{,}931\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0100 + 0{,}0050 - q_{1-2})^3}} =$$

$$= \sqrt[5]{\frac{885^6}{3\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0225 + 0{,}0015 - q_{1-2})^3}} - \sqrt[5]{\frac{419^6}{2{,}931\,(0{,}55 \,.\, 0{,}0087 + 0{,}0035 + q_{1-2})^3}},$$

и это уравненіе удовлетворяется при $q_{1-2} = 0{,}0004$.

Такимъ образомъ получается

$$q_{5-3} = 0{,}0018;\ q_{2-3} = 0;\quad q_{4-3} = 0;\quad q_{1-5} = 0{,}0254;$$
$$q_{1-2} = 0{,}0004;\ q_{1-4} = 0{,}0011;\ q_{5-2} = 0{,}0046;\ q_{5-4} = 0{,}0039.$$

Подставивъ эти значенія въ ур. 40)—47), въ которыхъ

$$H_{1-2} = 3;\ H_{1-4} = 3;\ H_{1-5} = 0{,}069;\ H_{5-4} = 2{,}931;\ H_{5-2} = 2{,}931;\ H_{5-3} = 2{,}939;\ H_{2-3} = 2{,}939;$$
$$H_{4-3} = 0{,}008,$$

получаемъ требуемые діаметры:

$$D_{1-2} = 0{,}120;\ D_{1-5} = 0{,}425;\ D_{1-4} = 0{,}168;\ D_{5-4} = 0{,}122;\ D_{5-2} = 0{,}133;\ D_{5-3} = 0{,}425;\ D_{2-3} = 0{,}143$$
$$D_{4-3} = 0{,}184.$$

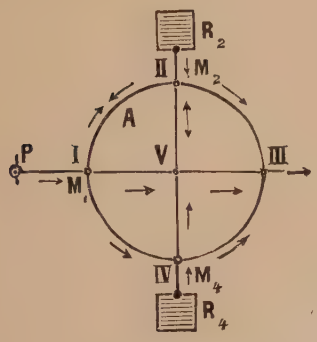
Округляя эти значенія для приведенія ихъ въ встрѣчаемымъ въ торговлѣ калибрамъ; получаемъ трубную сѣть слѣдующихъ размѣровъ:

$$D_{1-2} = 0{,}125;\ D_{1-5} = 0{,}425;\ D_{1-4} = 0{,}175;\ D_{5-4} = 0{,}125;\ D_{5-2} = 150;\ D_{5-3} = 0{,}425;\ D_{2-3} = 0{,}150$$
$$D_{4-3} = 0{,}200.$$

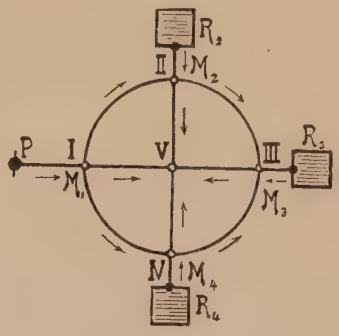
Само собой разумѣется, что при этихъ болѣе значительныхъ діаметрахъ высоты напора въ II и IV увеличатся. Относящіяся сюда вычисленія нетрудно выполнить такимъ же способомъ, какъ и въ примѣрѣ 4. Если же при вычисленіи желательно принять во вниманіе измѣненіе уровня воды въ бакѣ, то поступаютъ такъ, какъ показано ниже (отд. IV, гл. 17). Такъ какъ въ этомъ случаѣ величины M_1 и M_3 остаются безъ измѣненія, то уменьшатся только паденія H_{1-2}, H_{1-4}, H_{5-4}, H_{5-2}, H_{2-3} и H_{4-3}. Если при вычисленіяхъ принять не наивысшій, а средній уровень воды въ резервуарѣ, то приведенныя величины должны въ достаточной степени удовлетворять и этимъ условіямъ.

Если вмѣсто двухъ резервуаровъ имѣется ихъ три (или, что для вычисленія безразлично, два резервуара и насосная станція), то рѣшеніе задачи этимъ не затрудняется. Въ этомъ случаѣ (ср. фиг. 381) прежде всего необходимо изслѣдовать, достаточно-ли количество воды M_1 для удовлетворенія расходовъ Q_{1-2}, Q_{1-5} и Q_{1-4} на участкахъ сѣти, или нѣтъ, причемъ впередъ только опредѣлено, что на участкахъ II—III, V—III и IV—III питаніе происходитъ по направленію

стрѣлокъ. Если $M_1 < Q_{1-2} + Q_{1-5} + Q_{1-4}$, то на одномъ изъ этихъ участковъ направленіе теченія должно измѣниться. Если это, напр., произойдетъ на участкѣ I-II, то на части этого участка отъ I до A питаніе будетъ производиться отъ I, а отъ II до A, наоборотъ, питаніе будетъ происходить отъ II, и т. д. Способъ вычисленія для подобнаго случая изложенъ ниже (отд. IV гл. 17); при этомъ необходимо принять во вниманіе, что въ упомянутомъ случаѣ происходитъ равномѣрный расходъ, а слѣд. потеря напора составляетъ только $^1/_3$ той потери которая происходила-бы при доставленіи количествъ q_{1-2} и q_{2-1} безъ промежуточнаго провода къ A.



Фиг. 381.



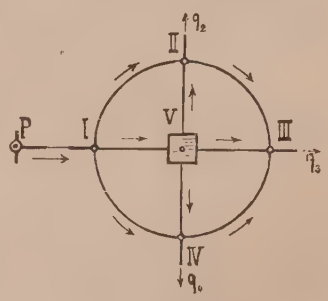
Фиг. 382.

Если въ системѣ находятся четыре резервуара (или соотвѣтственно три резервуара и насосная станція), то въ періоды наибольшихъ часовыхъ расходовъ водораспредѣленіе будетъ происходить такъ, какъ показано на фиг. 382. Въ такомъ случаѣ получаемъ

$$12)\quad q_{1-5} = q_{5-3} = q_{5-4} = q_{5-2} = O,$$

и кромѣ того еще вытекающія изъ сущности дѣла условныя уравненія, которыя оказываются весьма просты, когда въ точности $M_1 = Q_{1-2} + Q_{1-5} + Q_{1-4}$; $M_2 = Q_{2-5}$; $M_3 = Q_{2-3} + Q_{3-5} + Q_{4-3}$; $M_4 = Q_{5-4}$. Но въ обыкновенныхъ случаяхъ практики это не имѣетъ мѣста, а задаются только участки трубъ I—V, V—II—R_2, V—III—R_3, V—IV—R_4. Этимъ опредѣляются h_1, h_2, h_3 и h_4, а для величины h_5 принимается такая высота надъ уровнемъ моря, которая удовлетворяетъ особымъ условіямъ даннаго случая, такъ что все вычисленіе не представляетъ собой ничего затруднительнаго.

Наконецъ достоинъ замѣчанія тотъ весьма желательный для всѣхъ водоснабженій случай, когда напорный резервуаръ расположенъ по срединѣ главной трубопроводной сѣти въ точкѣ V. Если распредѣленіе воды происходитъ по направленіямъ, указаннымъ стрѣлками на фиг. 383, и если черезъ M_1 обозначимъ количество воды, доставляемой насосами, а черезъ M_5 — количество воды, даваемой резервуаромъ, то получаемъ уравненія:



Фиг. 383.

$$13)\quad M_1 - Q_{1-2} - Q_{1-5} - Q_{1-4} - q_{1-2} - q_{1-5} - q_{1-4} = O$$

$$14)\quad M_5 - Q_{5-2} - Q_{5-3} - Q_{5-4} - q_{5-2} - q_{5-3} - q_{5-4} = O$$

$$15)\quad q_{1-2} + q_{5-2} - q_{2-3} - q_2 - Q_{2-3} = O$$

$$16)\quad q_{1-4} + q_{5-4} - q_{4-3} - q_4 - Q_{4-3} = O.$$

Кромѣ того намъ извѣстенъ діаметръ трубопровода D_{1-5}, идущаго отъ насоса, къ резервуару, т. е. при данныхъ h_1 и h_5 намъ извѣстна величина q_{1-5}. Недостающія для опредѣленія неизвѣстныхъ діаметровъ три уравненія могутъ быть

какъ и выше, выведены изъ условій наименьшей начальной стоимости. Такимъ образомъ получаемъ

17) $q_{1-5} = C$

и соотвѣтствующія наименьшей начальной стоимости уравненія:

18) $\sqrt[5]{S_{5-4}} + \sqrt[5]{S_{4-3}} - \sqrt[5]{S_{5-3}} = 0$

19) $\sqrt[5]{S_{5-2}} + \sqrt[5]{S_{2-3}} - \sqrt[5]{S_{5-3}} = 0$

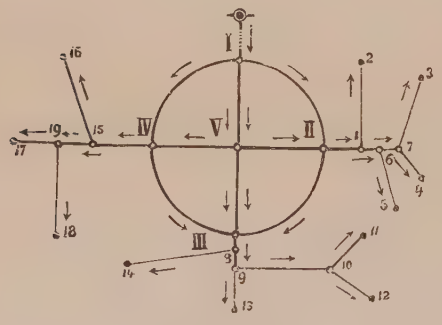
20) $\sqrt[5]{S_{1-2}} + \sqrt[5]{S_{5-2}} = \sqrt[5]{S_{1-4}} - \sqrt[5]{S_{5-4}}$,

въ которыхъ приняты тѣ-же обозначенія, что и выше.

Въ заключеніе замѣтимъ здѣсь, что при всѣхъ этихъ задачахъ получаемыя иногда отрицательныя значенія q_{1-2}, q_{1-4}, q_{1-5} и т. д. указываютъ на то, что на соотвѣтствующемъ участкѣ исключается всякое безпрерывное пониженіе рабочей высоты напора. Въ практикѣ встрѣчается громадное множество относящихся сюда задачъ, методъ рѣшенія которыхъ достаточно выясненъ всѣмъ нами вышесказаннымъ. Вычисленія большей частью довольно просты, но требуютъ внимательности относительно знаковъ.

В Развѣтвленія распредѣлительныхъ трубопроводовъ.

Если отъ замкнутой трубной сѣти проведены отдѣльные трубопроводы въ видѣ отвѣтвленій, то при впередъ опредѣленныхъ направленіяхъ теченія воды вычисленіе діаметровъ производится весьма просто. При этомъ бываютъ даны высоты напора h_1, h_2, h_3, h_4 и т. д. на концахъ отвѣтвленій, а также и количества воды. Если не предвидится дальнѣйшаго проведенія трубопроводовъ за точки 1, 2, 3 и т. д., то по участкамъ 1—2, 6—5, 7—3, 7—4, 8—14, 10—11, 10—12, 9—13, 8—14, 15—16, 19—17, 19—18 (фиг. 384) длиной соотвѣтственно l_{1-2}, l_{6-5}, l_{2-3} и т. д. равномѣрно распредѣляются одни только количества воды q_{1-2}, q_{6-5}, q_{7-3} и т. д. Для этого случая служитъ приведенная ниже (отд. IV, гл. 16) формула 8)



Фиг. 384.

$$h_1 - h_2 = \frac{\lambda q_{1-2}^{\,2} l_{1-2}}{3.\, d_{1-2}^{\,5}},$$

помощью которой аналогично могутъ быть опредѣлены діаметры на другихъ участкахъ.

Точно также нетрудно опредѣлить діаметры на участкахъ II—1, 1—6, 6—7, III—8, 8—9, IV—15, 15—19, такъ какъ намъ даны количества воды, отдаваемой въ точкахъ 1, 6, 8, 9, 15 и 19 на концахъ участковъ, а также и тѣ количества воды, которыя равномѣрно распредѣляются на длинахъ $l_{\text{II}-1}$, l_{1-6}, l_{6-2}, $l_{\text{III}-8}$, l_{8-9},

l_{IV-15}, l_{15-19}. Для этого случая можетъ быть примѣнена приведенная ниже (отд. IV), формула 6) или-же болѣе простая, приведенная нами выше подъ 32). Обозначивъ черезъ Q_{II-1} количество воды, равномѣрно распредѣляемой на участкѣ II—1, можно написать

$$h_{II} - h_1 = \frac{\lambda (0{,}55\, Q_{II-1} + 2_{II-1})^2 l_{II-1}}{d_{II-1}^5},$$

а принявъ во вниманіе, что

$$q_{II-1} = q_{1-2} + Q_{1-6} + q_{6-5} + Q_{6-7} + q_{7-3} + q_{7-4},$$

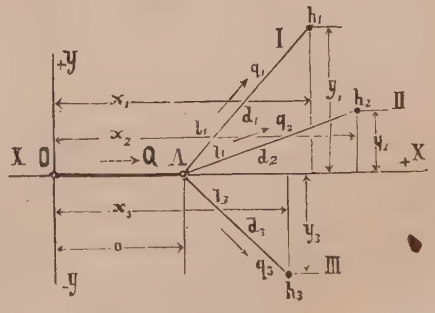
можно опредѣлить діаметръ d_{II-1}. Совершенно аналогичный способъ примѣняется и для остальныхъ упомянутыхъ участковъ.

Въ совершенно иномъ видѣ задача представляется намъ въ томъ случаѣ, когда пути, ведущія къ точкамъ 2, 3, 4, 5 и пр. не заданы впередъ, а могутъ быть выбраны совершенно произвольно Въ этомъ случаѣ, однако, почти никогда не принимается въ соображеніе равномѣрное распредѣленіе доставляемой по трубамъ воды, такъ какъ новыя улицы не прокладываются по соображенію съ наивыгоднѣйшими направленіями укладываемыхъ по нимъ трубъ, а въ застроенныхъ или назначенныхъ улицахъ пути, по которымъ вода должна быть распредѣлена, намъ извѣстны. Въ большинствѣ случаевъ вопросъ касается отвѣтвленій на чистомъ полѣ, въ садахъ, на общественныхъ площадяхъ и проч. Обыкновенно въ точкахъ 2, 3, 4, 5 приходится питать различныя учрежденія, расходующія воду (какъ напр. фабрики, фонтаны, гидранты и пр.), къ которымъ требуется доставлять опредѣленныя количества воды безъ расходованія ея по пути.

Чаще всего въ практикѣ имѣетъ мѣсто тотъ случай, когда отъ главной сѣти проводится къ этимъ пунктамъ отвѣтвленный трубопроводъ опредѣленнаго діаметра, и вопросъ заключается въ выборѣ наиболѣе цѣлесообразнаго пункта для этого отвѣтвленія.

Здѣсь можно руководствоваться слѣдующими соображеніями.

Пусть, напр. имѣется трубная вѣтвь OX, какъ показано на фиг. 385, проводящая при діаметрѣ D количество воды Q, и пусть въ точкѣ O существуетъ напоръ h_0, выраженный въ высотѣ надъ уровнемъ моря. Координаты точки I пусть будутъ x_1, y_1, а высота напора h_1; діаметръ трубъ на участкѣ AI длиной l_1 пусть будетъ d_1, а количество проводимой воды q_1. Для точки II примемъ аналогичныя обозначенія x_2, y_2, h_2, d_2, q_2; точно также и для точки III. Разстояніе OA обозначимъ черезъ a, а рабочую высоту напора въ A — черезъ h.



Фиг. 385.

Для этого случая получаемъ уравненія:

1) $l_1^2 = (x_1 - a)^2 + y_1^2$,

2) $l_2^2 = (x_2 - a)^2 + y_2^2$,

3) $l_3^2 = (x_3 - a)^2 + y_3^2$;

Затѣмъ для главнаго трубопровода OA имѣемъ

4) $h_0 - h = \frac{\lambda Q^2 a}{D^5} = n a$,

а для боковыхъ вѣтвей *A—I*, *A—II*, *A—III* и т. д.

$$5)\ h - h_1 = \frac{\lambda q_1^2 l_1}{d_1^5} = \frac{m_1 l_1}{d_1^5},$$

$$6)\ h - h_2 = \frac{\lambda q_2^2 l_2}{d_2^5} = \frac{m_2 l_2}{d_2^5},$$

$$7)\ h - h_3 = \frac{\lambda q_3^2 l_3}{d_3^5} = \frac{m_3 l_3}{d_3^5} \text{ и т. д.,}$$

гдѣ величина λ сперва принимается съ постояннымъ среднимъ значеніемъ.

Связывая ур. 4) соотвѣтственно съ ур-іями 5), 6), 7) . . . . , т. е. принимая въ нихъ $h = h_0 - n\,a$, получаемъ

$$8)\ h - h_1 = h_0 - h_1 - na = \delta_1 - na,$$
$$9)\ h - h_2 = h_0 - h_2 - na = \delta_2 - na,$$
$$10)\ h - h_3 = h_0 - h_3 - na = \delta_3 - na,$$
. . . . . .

Обозначенія n, m_1, m_2, m_3 . . . . δ_1, δ_2, δ_3 . . . . введены здѣсь для упрощенія письма, и величины ихъ предполагаются постоянными (данными).[1])

Если для величины a принято опредѣленное значеніе, то система уравненій 1) до 7) даетъ полное рѣшеніе задачи. Если-же величина a неопредѣлена, то возможны различныя рѣшенія этой задачи.

Если поставить себѣ задачей опредѣлить положеніе A, при которомъ стоимость K устройства трубопроводовъ будетъ по возможности мала (наименьшею), то необходимо принять въ соображеніе, что если k обозначаетъ стоимость 1 погонн. метра трубной вѣтви діаметр. 1 метр., и что стоимость трубопровода увеличивается пропорціонально діаметру, то получимъ:

$$K = k\,(aD + l_1 d_1 + l_2 d_2 + l_3 d_3 + \ldots\ldots),$$

или, опредѣляя величины l_1, l_2, l_3 . . . . по ур. 1) 2), 3). . . . , а величины d_1, d_2, d_3 . . . . по ур. 5), 6), 7) . . . . и принимая сокращенія по ур. 8), 9), 10) . . . . , получаемъ:

$$11)\ K = k\left\{aD + \sqrt[5]{\frac{m_1[(x_1 - a)^2 + y_1^2]^3}{\delta_1 - na}} + \sqrt[5]{\frac{m_2[(x_2 - a)^2 + y^2{}_2]^3}{\delta_2 - na}} + \ldots\right\}.$$

Дифференцируя величину K по a и принявши $\frac{dk}{da} = O$, получаемъ условіе

---

[1]) Если въ вычисленія, кромѣ доставляемыхъ къ концу вѣтви количествъ воды Q_1 q_1, q_2 и т. д., требуется еще ввести количество воды M, равномѣрно распредѣляемой на 1 погонн. метр. длины трубопровода, то ур. 1), 2), 3) и т. д. остаются безъ измѣненія. Вмѣсто ур. 4), 5), 6) и т. д., подставляя $0{,}55\,M = \mathrm{V}$ получаемъ

$$4a)\ h_0 - h = \frac{\lambda\,(a\,V + Q)^2\,a}{D^5} = \alpha\,a^3 + \beta\,a^2 + \gamma\,a,$$

$$5a)\ h - h_1 = \frac{\lambda\,(l_1\,V + q_1)^2\,l_1}{d_1^5} = \alpha_1\,l_1^3 + \beta_1\,l_1^2 + \gamma_1\,l_1,$$

$$6a)\ h - h_2 = \frac{\lambda\,(l_2\,V + q_2)^2\,l_2}{d_2^5} = \alpha_2\,l_2^3 + \beta_2\,l_2^2 + \gamma_2\,l_2,$$

откуда получаемъ

$$8a)\ h - h_1 = h_0 - h_1 - (\alpha a^3 + \beta\,a^2 + \gamma\,a) = \delta_1 - \alpha a^3 - \beta\,a^2 - \gamma\,a,$$
$$9a)\ h - h_2 = h_0 - h_2 - (\alpha a^3 + \beta\,a^2 + \gamma\,a) = \delta_2 - \alpha a^3 - \beta\,a^2 - \gamma\,a$$

и т. д. При послѣдующихъ затѣмъ разсчетахъ ходъ вычисленій остается неизмѣннымъ, но формулы получаются нѣсколько болѣе сложными. Мы здѣсь ограничиваемся этимъ указаніемъ.

наименьшей стоимости и изъ получаемаго такимъ образомъ уравненія опредѣляемъ величину a. Производя это дифференцированіе, получаемъ уравненіе,

$$12)\quad O = D - \frac{6(x_1 - a)(\delta_1 - na) - n[(x_1 - a)^2 + y_1^2]}{\sqrt[5]{\frac{3125}{m_1}[(x_1 - a)^2 + y_1^2]^2 (\delta_1 - na)^6}} - \frac{6(x_2 - a)(\delta_2 - na) - n[(x_2 - a)^2 + y_2^2]}{\sqrt[5]{\frac{3125}{m_2}[(x_2 - a)^2 + y_2^2]^2 (\delta_2 - na)^6}} - \ldots\ldots\ldots\ldots$$

въ которомъ всѣ величины, кромѣ a, извѣстны, и по которому слѣд. можетъ быть опредѣлена величина a. По этому значенію a ур. 4) даетъ намъ значеніе h, и затѣмъ уже по ур. 5), 6), 7) и т. д. легко могутъ быть опредѣлены величины d_1, d_2, d_3 . . . . .

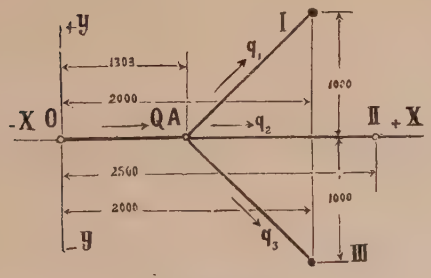
Примѣненіе этихъ формулъ выясняется нижеприведеннымъ примѣромъ.

Примѣръ. Главная вѣтвь OA (фиг. 386) при ширинѣ въ 250 миллим. проводитъ количество воды въ 30 секундо-литровъ, которое должно быть проведено дальше по тремъ трубопроводамъ, изъ коихъ первый идетъ по направленію главной вѣтви, а остальные два расположены симметрично относительно этого направленія. Каждый трубопроводъ долженъ пропускать 10 литр. въ секунду. При значеніяхъ $h_0 = 102$; $h_1 = h_3 = 72$; $h_2 = 62$; $x_1 = x_3 = 2000$ $y_1 = 1000 = -y_3$, $x_2 = 2500$ и $y_2 = O$ требуется опредѣлить діаметры отвѣтвленій, соотвѣтствующіе наименьшей стоимости.

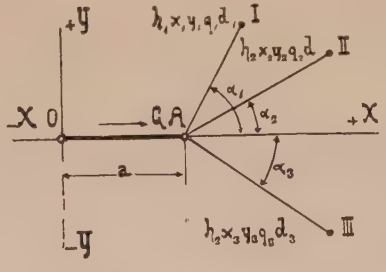
При предварительно постоянномъ значеніи $\lambda = 0{,}0025$ (см. отд. IV, гл. 14) мы прежде всего опредѣляемъ величины m_1, m_2, m_3, δ_1, δ_2, δ_3 и n, а именно:

$$m_1 = 0{,}0025 \cdot 0{,}01^2 = 0{,}00000025; \qquad m_2 = m_3 = m_1; \delta_1 = \delta_3 = 102 - 72 = 30$$

$$\delta_2 = 102 - 62 = 40; \qquad n = \frac{0{,}0025 \cdot 0{,}030^2}{0{,}250^5} = 0{,}0023.$$



Фиг. 386.



Фиг. 387.

Тогда получаемъ

$$0 = 0{,}250 - \frac{2 \cdot 6(2000 - a)(30 - 0{,}0023 \cdot a) - 0{,}0023[(2000 - a)^2 + 1000^2]}{\sqrt[5]{12500000000[(2000 - a)^2 + 1000^2]^2 (30 - 0{,}0023 \cdot a)^6}} - \frac{6(2500 - a)(40 - 0{,}0023 \cdot a) - 0{,}0023(2500 - a)^2}{\sqrt[5]{12500000000(2500 - a)^4 (40 - 0{,}0023 \cdot a)^6}}.$$

Путемъ пробныхъ вычисленій находимъ

$$a = 1303.$$

Изъ ур. 4) находимъ

$$h = h_0 - na = 102 - 0{,}0023 \cdot 1303 = 99{,}00,$$

а при этомъ значеніи h ур-ія 5), 6) и 7) даютъ

$$d_1 = d_3 = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \cdot 0{,}010^2 \cdot [(2000-1303)^2 + 1000^2]^{1/2}}{99-72}} = 0{,}1024,$$

$$d_2 = \sqrt[5]{\frac{0{,}0025 \cdot 0{,}010^2 \cdot (2500-1303)}{99-62}} = 0{,}0959.$$

Стоимость всего устройства, согласно ур. 11), будетъ

$$K = k\,(0{,}250 \cdot 1303 + 2 \cdot 0{,}1024 \cdot 1219 + 0{,}0959 \cdot 1197) = 690{,}12 \cdot k.$$

Обыкновенно эти вычисленія даютъ такіе діаметры трубъ, которые не встрѣчаются въ продажѣ; въ подобныхъ случаяхъ выбираютъ ближайшіе большіе діаметры трубъ обыкновенно встрѣчаемыхъ въ практикѣ калибровъ. Тогда діаметры являются впередъ заданными, и условія задачи уже нѣсколько измѣняются. То-же самое имѣетъ мѣсто и въ томъ случаѣ, когда діаметры трубъ опредѣляются изъ того условія, чтобы средняя скорость движенія воды по всѣмъ вѣтвямъ трубъ оставалась-бы одинаковой. Въ подобныхъ случаяхъ можно руководствоваться слѣдующими соображеніями.

При постоянныхъ діаметрахъ, удерживая предыдущія обозначенія, получаемъ полную стоимость трубопровода

$$13)\quad K = k\left\{aD + d_1\sqrt{(x_1-a)^2+y_1^2} + d_2\sqrt{(x_2-a)^2+y_2^2} + \ldots\ldots\right\}.$$

Дифференцируя это выраженіе по a, получаемъ

$$\frac{dK}{da} = k\left\{D - \frac{d_1(x_1-a)}{\sqrt{(x_1-a)^2+y_1^2}} - \frac{d_2(x_2-a)}{\sqrt{(x_2-a)^2+y_2^2}} - \ldots\ldots\right\}$$

$$k = \left\{D\,d_1\,Cos\,\alpha_1 - d_2\,Cos\,\alpha_2 - \ldots\ldots\right\},$$

гдѣ подъ α_1, α_2 . . . слѣдуетъ разумѣть углы, показанные на фиг. 387. Такимъ образомъ наименьшая стоимость получится, когда

$$14)\quad D = d_1\,Cos\,\alpha_1 + d_2\,Cos\,\alpha_2 + d_3\,Cos\,\alpha_3 + \ldots\ldots.$$

Если отъ главной вѣтви OA отвѣтвлены 2 трубопровода подъ одинаковыми углами α_1, то по ур. 14) получаемъ

$$15)\quad Cos\,\alpha_1 = \frac{D}{d_1 + d_2}.$$

Если скорость теченія одинакова какъ въ главномъ трубопроводѣ, такъ и въ обоихъ отвѣтвленіяхъ, то получаемъ

$$\frac{Q}{D^2} = \frac{q_1}{d_1^2} = \frac{q_2}{d_2^2};$$

при $q_1 = q_2 = \frac{Q}{2}$ и при одинаковомъ діаметрѣ d_1 обоихъ отвѣтвленій получается

$$D^2 = 2\,d_1^2;\ D = d_1\sqrt{2}.$$

Подставивъ это значеніе въ ур. 15), получимъ

$$Cos\,\alpha_1 = \frac{D}{2\,d_1} = \sqrt{\frac{1}{2}},\quad \alpha_1 = 45^0.$$

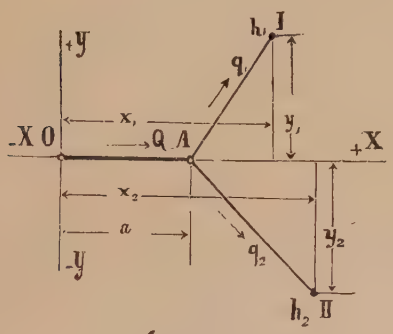
Если всѣ три діаметра сдѣланы одинаковыми, что можетъ случиться тогда, когда требуется имѣть діаметры не ниже извѣстнаго калибра, то $D = d_1 = d_2$, и по ур. 15) получаемъ

$$Cos\,\alpha_1 = \frac{D}{2\,D} = \frac{1}{2} \text{ и } \alpha = 60^0.$$

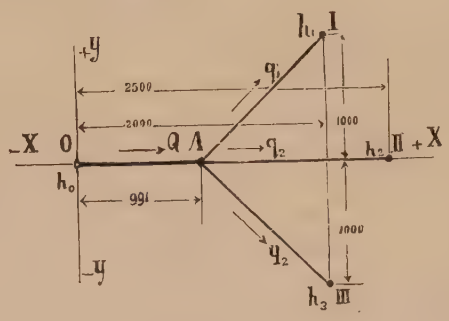
Вообще при опредѣленныхъ діаметрахъ отвѣтвленныхъ трубопроводовъ наименьшая стоимость мыслима лишь въ такомъ случаѣ, когда величины q_1, q_2 . . . . или h_1, h_2 . . . . могутъ измѣняться въ опредѣленныхъ предѣлахъ.

Если послѣднее условіе не имѣетъ мѣста, то задача при двухъ отвѣтвленіяхъ является напередъ точно опредѣленной. Такъ (фиг. 388), при постоянныхъ d_1 и d_2 и опредѣленныхъ q_1, q_2 и h_1, h_2, получаются условія:

$$h - h_1 = \frac{\lambda q_1^2 l_1}{d_1^5}, \quad h - h_2 = \frac{\lambda q_1^2 l_2}{d_2^2},$$



Фиг. 388.



Фиг. 389.

изъ которыхъ путемъ вычитанія получаемъ

$$h_1 - h_2 = \frac{\lambda q_2^2 l_2}{d_2^5} - \frac{\lambda q_1^2 l_1}{d_1^5}.$$

Но

$$l_1 = \sqrt{(x_1 - a)^2 + y_1^2}, \quad l_2 = \sqrt{(x_2 - a)^2 + y_2^2},$$

слѣд. уравненія для опредѣленія величины a будетъ

$$16) \quad (h_1 - h_2)\, d_1^5\, d_2^5 = \lambda q_2^2\, d_1^5 \sqrt{(x_2 - a)^2 + y_2^2} - \lambda q_1^2\, d_2^5 \sqrt{(x_1 - a)^2 + y_1^2}.$$

Значеніе a опредѣляется путемъ пробныхъ вычисленій, а при симметрично расположенныхъ отвѣтвленіяхъ—путемъ непосредственнаго рѣшенія ур-ія 16).

Если изъ одного мѣста выходятъ три или болѣе отвѣтвленій, то для каждыхъ двухъ изъ этихъ отвѣтвленій можно опредѣлить значеніе a путемъ данныхъ соотношеній между h_1, q_1, h_2, q_2; для третьяго и слѣдующихъ отвѣтвленій этимъ опредѣляются длины, а вмѣстѣ съ тѣмъ, при данныхъ діаметрахъ, количества воды или рабочія высоты напора въ концахъ трубопроводовъ обусловливаются опредѣленнымъ мѣстомъ отвѣтвленія.

Выборъ наивыгоднѣйшаго значенія a, соотвѣтствующаго даннымъ условіямъ, дѣлается возможнымъ послѣ вычисленія стоимости для каждыхъ двухъ послѣдовательныхъ комбинацій.

Примѣръ. Допустимъ, что, какъ и въ предыдущей задачѣ, здѣсь $x_1 = x_3 = 2000$, $y_1 = 100 = -y_3$; $q_3 = q_2 = q_3 = 0{,}010$ куб. метр. ; $D = 0{,}250$; $Q = 0{,}30$. Вводя теперь величины $d_1 = d_3 = 0{,}125$, $d_2 = 0{,}100$, т. е. вводя здѣсь діаметры, которые соотвѣтствуютъ калибрамъ, ближайшими большимъ къ вышенайденнымъ діаметрамъ, получаемъ изъ ур. 14)

$$0{,}250 = 0{,}125 \cdot Cos\alpha_1 + 0{,}100 + 0{,}125\, Cos\alpha_1,$$

такъ какъ здѣсь $\alpha_1 = \alpha_3$ и $\alpha_2 = 0$, а слѣд. $Cos\alpha_2 = 1$. Изъ этого уравненія слѣдуетъ

$$Cos\alpha_1 = \frac{0{,}150}{0{,}250} = 0{,}60, \text{ и } \alpha_1 = \alpha_3 = 53^\circ 8'.$$

Но съ другой стороны

$$Cos\alpha_1 - 0{,}60 = \frac{2000 - a}{\sqrt{(2000-a)^2 + 1000^2}}$$

откуда получаемъ

$$a = 750 \text{ метр.},$$

а вмѣстѣ съ тѣмъ

$$l_1 = \sqrt{1000^2 + 1250^2} = l_3 = 1601 \text{ метр.}$$
$$l_2 = 2500 - 750 = 1700 \text{ метр}$$

Затѣмъ имѣемъ

$$h_0 - h = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}030^2 \,.\, 750}{0{,}250^5} = 1{,}73\,;\; h = 102 - 1{,}73 = 100{,}27.$$

Если количество воды, пропускаемой каждымъ трубопроводомъ, составляетъ $q_1 = q_2 = q_3 = 0{,}010$ куб. метр., то при $\lambda = 0{,}0025$ должно быть

$$100{,}27 - h_1 = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}010^2 \,.\, 1601}{0{,}125^5} = 13{,}12\,;\; h_1 = h_3 = 87{,}15;$$

$$100{,}27 - h_2 = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}010^2 \,.\, 1750}{0{,}100^5} = 43{,}75\,;\; h_2 = 56{,}52$$

Отсюда видно, что величина h_2 меньше предположенной въ предыдущей задачѣ.

Если требуется, чтобы высота напора въ III не опускалась бы ниже 62 метр., то при сохраненіи значенія $d_2 = 0{,}100$ наименьшая потребная длина a вычисляется по уравненіямъ

$$102 - h = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}030^2 \,.\, a}{0{,}250^5}, \qquad h - 62 = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}010^2\,(2500 - a)}{0{,}100^5}$$

и составляетъ

$$a = 991 \text{ метр.}\ ^1)$$

Отсюда затѣмъ опредѣляются

$$l_1 = \sqrt{1000^2 + 1009^2} = l_3 = 1441 \text{ метр.}\,;\; l_2 = 1509 \text{ метр.}$$

При этомъ начальная стоимость получается

$$K = k\,(0{,}250 \,.\, 991 + 2 \,.\, 0{,}125 \,.\, 1421 + 0{,}100 \,.\, 1509) = 753{,}92 \,.\, k.$$

Если бы допустимо было уменьшеніе рабочей высоты напора h_2 до 56,52 метр., то стоимость была бы

$$K = k\,(0{,}250 \,.\, 750 + 2 \,.\, 0{,}125 \,.\, 1601 + 0{,}1000 \,.\, 1750) = 738{,}65 \,.\, k.$$

Если всѣ три отвѣтвленія будутъ имѣть одинаковые діаметры $d_1 = d_2 = d_3 = 0{,}100$ метр., то для сохраненія высоты напора $h_1 = 72$ метр. должно быть

$$102 - h = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}030^2 \,.\, a}{0{,}250^5}, \qquad h - 72 = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}010^2}{0{,}100^5} \sqrt{(2000 \,.\, a)^2 + 1000^2}.$$

Сложивъ оба эти уравненія и рѣшивъ относительно a, получаемъ

$$a = 1690 \text{ метр.}$$

Отсюда опредѣляется

$$l_1 = l_3 = \sqrt{1000^2 + 310^2} = 1045 \text{ метр.}\,;\; l_2 = 2500 - 1690 = 810 \text{ метр.}$$

Стоимость въ этомъ случаѣ будетъ

$$K = k\,(0{,}250 \,.\, 1690 + 2 \,.\, 0{,}100 \,.\, 1045 + 0{,}100 \,.\, 810) = 712{,}50 \,.\, k.$$

---

[1]) Если въ I и III уменьшить рабочую высоту напора съ 87,15 метр. до 72 метр., то аналогичнымъ же путемъ получаются уравненія

$$102 - h = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}030^2 \,.\, a}{0{,}250^5}; \qquad h - 72 = \frac{0{,}0025 \,.\, 0{,}010^2}{0{,}125^5} \sqrt{(2000 - a)^2 + 1000^2},$$

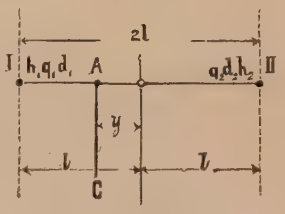
отъ сложенія и разрѣшенія которыхъ получается отрицательное значеніе a. Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ дешевле всего будетъ расположить точку отвѣтвленія въ O, а если возможно, то еще и раньше.

Какъ видно изъ полученныхъ численныхъ значеній, послѣднее рѣшеніе ближе всего подходитъ къ наименьшей стоимости, а потому должно быть предпочтено предыдущему. Такимъ образомъ въ точкѣ III получится значительно большая высота напора, нежели требуется по заданію.

Изъ приведенныхъ вычисленій видно, что подобная задача допускаетъ въ практикѣ различныя рѣшенія, которыя до окончательнаго выбора соотвѣтствующихъ значеній должны быть сравниваемы между собой, и что разница въ стоимости во всякомъ случаѣ получается довольно замѣтная.

Ур. 14) намъ показываетъ, что наименьшая стоимость оказывается невозможной, если трубопроводы отвѣтвлены перпендикулярно главной вѣтви; но въ практикѣ не всегда оказывается удобоисполнимымъ давать трубопроводу теоретически требуемое направленіе.

Иногда отвѣтвленіе расположено по прямой I—II (фиг. 390) и питается отъ главнаго провода, пересѣкающаго эту прямую въ точкѣ A. Если отвѣтвленный трубопроводъ имѣетъ общую длину $2l$, и если къ точкѣ I по трубѣ діам. d_1 притекаетъ количество воды q_1 при рабочей высотѣ напора h_1 въ I; если затѣмъ къ точкѣ II по трубѣ діам. d_2 притекаетъ количество воды q_2 при высотѣ напора h_2 въ точкѣ II; наконецъ если въ A существуетъ высота напора h, то, считая разстоянія y отъ средины вѣтви I-II, получаемъ



Фиг. 390.

$$17)\quad h - h_1 = \frac{\lambda\, q_1 (l-y)}{d_1^{\,5}}$$

$$18)\quad h - h_2 = \frac{\lambda\, q_2 (l+y)}{d_2^{\,5}},$$

откуда путемъ вычитанія одного уравненія изъ другого получаемъ

$$19)\quad y = \frac{(h_1 - h_2)\, d_1^{\,5}\, d_2^{\,5} + \lambda\, q_1^{\,2}\, l\, d_2^{\,5} - \lambda\, q_2^{\,2}\, l\, d_1^{\,5}}{\lambda\, q_1^{\,2}\, d_2^{\,5} + \lambda\, q_2^{\,2}\, d_1^{\,5}}.$$

Стоимость вѣтви I-II составляетъ

$$20)\quad K = k\,[d_1 (l-y) + d_2 (l+y)],$$

и получаетъ наименьшее свое значеніе, когда y опредѣлено изъ уравненія $\frac{dK}{dy} = 0$. Соотвѣтствующее этому случаю условіе выражается равенствомъ

$$d_1 = d_2,$$

и для подобнаго случая получается

$$21)\quad y = \frac{(h_1 - h_2)\, d_1^{\,5} + \lambda\, .\, l\,(q_1^{\,2} - q_2^{\,2})}{\lambda\,(q_1^{\,2} + q_2^{\,2})}.$$

Если $h_1 = h_2$, то это уравненіе упрощается и переходитъ въ уравненіе

$$y = l\, .\, \frac{q_1^{\,2} - q_2^{\,2}}{q_1^{\,2} + q_2^{\,2}},$$

и y будетъ нулемъ тогда, когда доставляемыя количества воды тоже будутъ одинаковы.

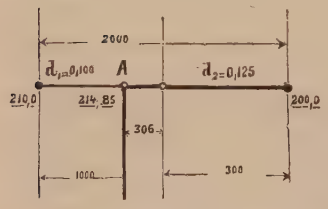
Такимъ образомъ съ финансовой точки зрѣнія оказывается наиболѣе выгоднымъ направить главный проводъ OA къ той точкѣ A отвѣтвленія I—II, отъ которой задача можетъ быть выполнена трубами одинаковыхъ діаметровъ съ обѣихъ сторонъ. Если количества воды, распредѣляемой вправо и влѣво отъ точки A одинаковы, точно также какъ и требуемыя рабочія высоты напора на

концахъ I и II, то средина вѣтви I-II представляетъ собой положеніе точки A, соотвѣтствующее наименьшей стоимости.

Примѣръ. Пусть (фиг. 391) высоты напора (измѣряемыя отъ уровня моря) будутъ $h_1 = 210$, $h_2 = 200$; затѣмъ $q_1 = 0{,}010$ куб. метр., $q_2 = 0{,}015$ куб. метр., $2l = 1000$, $d_1 = 0{,}100$ $d_2 = 0{,}125$ метр. Согласно ур. 19) будетъ

$$y = \frac{(210-200)\,0{,}100^5 \cdot 0{,}125^5 + 0{,}0025 \cdot 500\,(0{,}010^2 \cdot 0{,}125^5 - 0{,}015^2 \cdot 0{,}100^5)}{0{,}0025\,(0{,}010^2 \cdot 0{,}125^5 + 0{,}015^2 \cdot 0{,}100^5)} = 306 \text{ метр.}$$

Подставивъ это значеніе y въ ур. 17), получимъ



Фиг. 391.

$$h = 210 + \frac{0{,}0025 \cdot 0{,}010^2 \cdot 194}{0{,}100^5} = 214{,}85 \text{ метр.},$$

и помощью ур. 20) получаемъ стоимость вѣтви I-II:

$$K = k\,(0{,}100 \cdot 194 + 0{,}125 \cdot 806) = 120{,}15\,k.$$

Опредѣляя затѣмъ мѣсто A, для котораго, при равной высотѣ напора въ главномъ проводѣ, а слѣд. и въ A, оказывается возможнымъ удовлетворить условіямъ водоснабженія, какъ и выше, помощью трубопровода одинаковаго діаметра по всей его длинѣ, находимъ помощью ур. 21)

$$y = \frac{10 \cdot d_1^5 + 0{,}0025 \cdot 500\,(0{,}010^2 - 0{,}015^2)}{0{,}0025\,(0{,}010^2 + 0{,}015^2)} = 12307691\,d_1^5 - 191{,}85.$$

Изъ ур. 17) мы имѣемъ

$$d_1^5 = \frac{0{,}0025 \cdot 0{,}010^2}{4{,}85}\,(500 - y) = 0{,}000000051546\,(500 - y).$$

Рѣшая совмѣстно оба эти уравненія, получаемъ

$$y = 0{,}63296\,(500 - y) - 191{,}85 = \frac{124{,}63}{1{,}63} = 76{,}4 \text{ метр.}$$

$$d_1 = \sqrt[5]{0{,}0000000\,51546\,(500 - 76{,}4)} = 0{,}1169 \text{ метр.}$$

Предполагая, что полученный діаметръ соотвѣтствуетъ находящимся въ продажѣ калибрамъ, получимъ стоимость одной вѣтви трубопровода этого діаметра

$$K = k\,(0{,}1169 \cdot 1000) = 116{,}9\,k.$$

Единичный проводъ діам. 120 миллим. оказывается практически наиболѣе цѣлесообразнымъ и постоянно требующимъ меньше затраты, нежели два трубопровода различныхъ діаметровъ. Одновременно съ этимъ мѣсто A придвигается ближе къ срединѣ отвѣтвленія.

C. Параллельно направленные распредѣлительные трубопроводы.

При городскихъ водоснабженіяхъ случается весьма часто, что главныя вѣтви на нѣкоторыхъ опредѣленныхъ участкахъ должны имѣть значительные діаметры потому, что по нимъ направляется вода къ расположеннымъ впереди нихъ частямъ водопроводной сѣти. Такъ напр. по вѣтви I—V въ примѣрѣ 2 (фиг. 376) на участкѣ I—V равномѣрно распредѣляется количество воды только въ 0,0088 куб. метр., между тѣмъ какъ въ пунктѣ V эта вѣтвь должна доставлять 0,0597 куб. метр., т. е. почти въ 9 разъ больше воды для питанія расположенныхъ спереди и сбоку V трубныхъ вѣтвей. Такимъ образомъ значительный діаметръ вѣтви I—V обусловливается исключительно только послѣднею цѣлью этой вѣтви.

Если вѣтвь I—V часто остается безъ дѣйствія—а это происходитъ каждый разъ при проводѣ отъ нея новой боковой вѣтви — то зависящее отъ нея водоснабженіе расположенной спереди нея части города прекращается. Для предупрежденія подобныхъ перерывовъ водоснабженія устраиваютъ такъ называемыя

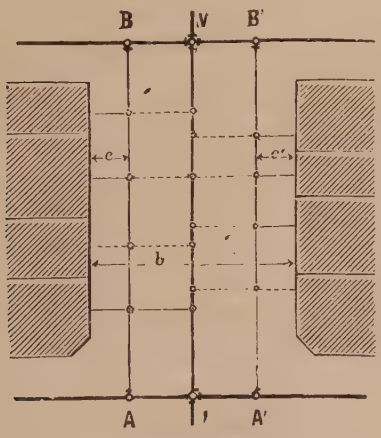
параллельныя вѣтви AB, $A'B'$ (фиг. 392), устройство которыхъ особенно цѣлесообразно тогда, когда имѣется въ виду уменьшеніе стоимости устройства водоснабженія.

Если ширина улицы составляетъ b метровъ, число боковыхъ (домовыхъ) отвѣтвленій будетъ n, разстояніе параллельной вѣтви AB отъ плоскости домовъ c, разстояніе параллельной вѣтви $A'B'$ отъ плоскости домовъ c' метр., то устройствомъ этихъ вѣтвей получится сбереженіе на трубопроводахъ для частныхъ отвѣтвленій въ суммѣ

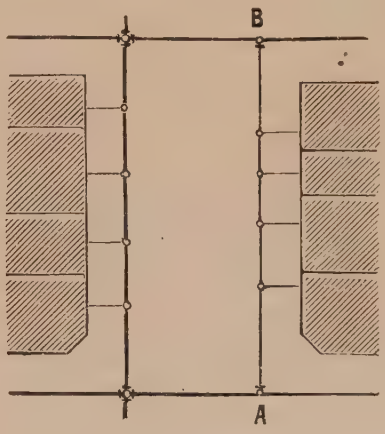
$$S_1 = n\left(b - \frac{c + c'}{2}\right) K_1,$$

гдѣ K_1 выражаетъ стоимость 1 погонн. метра частныхъ отвѣтвленій, причемъ предполагается, что съ правой и лѣвой стороны уложено одинаковое число одинаковыхъ діаметровъ частныхъ отвѣтвленій. Но такъ какъ параллельныя вѣтви AB и $A'B'$ имѣютъ меньшіе діаметры, нежели вѣтвь I—V, то кромѣ найденнаго сбереженія получится еще сбереженіе суммы

$$S_2 = n K_2,$$



Фиг. 392.



Фиг. 393.

гдѣ K_2 выражаетъ излишекъ стоимости отвѣтвленія отъ большей вѣтви I—V (вслѣдствіе большихъ соединительныхъ частей, болѣе трудной работы и т. д.) относительно стоимости отвѣтвленія отъ меньшихъ вѣтвей AB и $A'B'$, требуемой на каждое отвѣтвленіе. Наконецъ еще источникъ нѣкотораго сбереженія кроется въ томъ, что при параллельныхъ вѣтвяхъ не требуется расходовъ по пересѣченію улицы и замащиванію дорого стоющей мостовой, по перекладкѣ и пересѣченію уложенныхъ въ землѣ газовыхъ трубъ, каналовъ и проч., что даетъ сбереженіе нѣкоторой суммы S_3.

Если сумма $S_1 + S_2 + S_3$ больше расхода S на укладку вѣтвей AB и $A'B'$, то безусловно слѣдуетъ остановиться на распредѣленіи помощью вѣтвей AB и $A'B'$. Но даже и въ томъ случаѣ, когда $S > S_1 + S_2 + S_3$, очень часто мѣстныя условія, какъ напр. предупрежденіе перерыва путей сообщенія и т. д., говорятъ въ пользу устройства параллельныхъ вѣтвей. Возраженіе противъ цѣлесообразности этого устройства, состоящее въ томъ, что обыкновенно абоненты сами должны оплачивать стоимость своихъ домовыхъ отвѣтвленій, такъ что управленію водопроводнаго сооруженія совершенно безразлично, какова стои-

мость этихъ отвѣтвленій, а слѣд. и какова ихъ длина, вообще не можетъ быть признано правильнымъ, такъ какъ въ концѣ концовъ невозможно обойтись безъ назначенія единичной цѣны за отвѣтвленіе независимо отъ его длины. Необходимо еще принять въ соображеніе, что содержаніе домовыхъ отвѣтвленій, насколько они уложены по улицѣ, почти безъ исключенія всегда лежитъ на обязанности водопроводнаго управленія, а стоимость этого содержанія будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ эти отвѣтвленія короче.

Если главная вѣтвь I-V имѣетъ такой діаметръ, что просверливаніе ея и примыканіе къ ней отвѣтвленій не сопряжено съ большими трудностями и значительными расходами, то очень часто выбираютъ расположеніе, показанное на фиг. 393 и опредѣляемое тѣми-же условіями, какія были приведены нами выше, но съ той лишь разницей, что въ этомъ случаѣ укладывается одна только параллельная вѣтвь AB. Способъ сравнительнаго исчисленія стоимости устройства въ данномъ случаѣ послѣ всего вышесказаннаго не представитъ собой никакихъ затрудненій.

При вычисленіи діаметровъ трубъ на вѣтви AB (а при расположеніи по фиг. 392 и на $A'B'$) обыкновенно принимаютъ, что наибольшія, расходуемыя на соотвѣтствующихъ участкахъ трубы, количества воды доставляются поровну изъ A и B (и соотвѣтственно поровну изъ A' и B'), и что при этомъ скорость въ началѣ и концѣ участка трубопровода не превышаетъ 1 метра. Во всякомъ случаѣ діаметръ трубъ не долженъ быть сдѣланъ меньше 40 миллим.

Гидранты располагаются на главной вѣтви I—V и тогда, когда на ней существуютъ параллельныя вѣтви; поэтому при опредѣленіи діаметра параллельной вѣтви нѣтъ необходимости принять въ соображеніе гидранты. Вслѣдствіе простоты всего этого разсчета мы здѣсь примѣровъ приводить не будемъ.

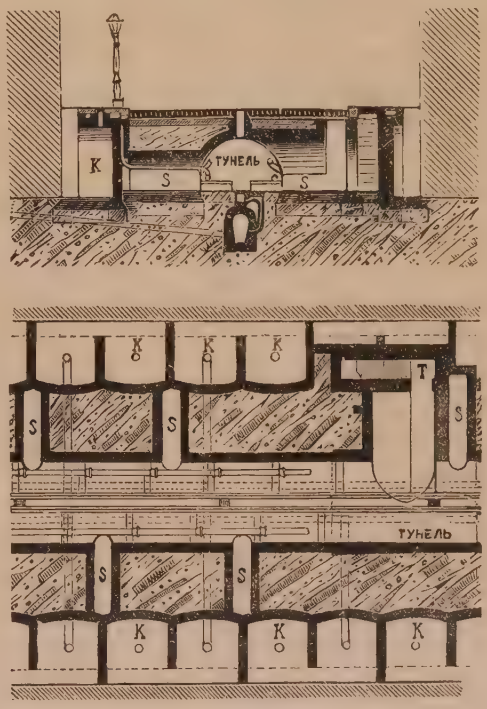
Другія техническія соображенія по поводу распредѣленія воды. Описаніе различнаго рода трубопроводовъ (металлическихъ, гончарныхъ, цементныхъ, асфальтовыхъ трубъ и проч.), а также и различныхъ способовъ соединеній трубъ, фасонныхъ частей, арматуры и проч. составляетъ отдѣльный предметъ, въ изложеніи котораго мы здѣсь входить не будемъ. Поэтому мы въ слѣдующихъ нашихъ замѣчаніяхъ ограничимся только общими соображеніями.

При современномъ состояніи техники распредѣлительныя и отвѣтвленныя сѣти устраиваются почти исключительно изъ чугунныхъ трубъ. Въ рѣдкихъ только случаяхъ укладка этихъ трубъ производится въ такъ называемыхъ галлереяхъ, т. е. въ проходимыхъ подземныхъ каналахъ; большей частью онѣ прямо Укладываются въ землѣ и покрываются также землей. Въ этомъ отношеніи не существуетъ никакой разницы относительно условій, разсмотрѣнныхъ нами выше въ § 4 и 5 этого отдѣла.

Укладка распредѣлительныхъ трубопроводовъ въ галлереяхъ можетъ быть рекомендована только въ тѣхъ случаяхъ, когда послѣднія уже существуютъ для какихъ нибудь другихъ цѣлей (какъ напр. большіе крытые сводами каналы, туннели подъ улицами и для желѣзныхъ дорогъ, судоходные каналы и проч.). Само собой разумѣется, что если въ подобныхъ галлереяхъ трубы достаточно защищены отъ вліяній погоды и наружныхъ поврежденій, то легкій доступъ къ трубамъ представляетъ собой весьма цѣнное и достигаемое путемъ незначительныхъ затратъ преимущество предъ

укладываемыми въ землѣ трубами. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ устройство отдѣльныхъ галлерей для водопроводныхъ трубъ можетъ быть поставлено непремѣннымъ требованіемъ ввиду безопасности путей сообщенія.

Такъ напр. желѣзнодорожныя управленія допускаютъ проведеніе водопроводныхъ напорныхъ трубъ подъ рельсами только при укладкѣ ихъ въ галлереяхъ, что вполнѣ правильно, ввиду возможности схода поѣзда съ рельсовъ отъ излома трубы и производимаго при этомъ разрыхленія почвы. Незамѣченный изломъ водопроводной трубы можетъ повлечь за собой опасность для жителей неширокихъ улицъ съ рыхлой почвой и высокими домами. Особенно опасной является укладка безъ галлерей широкихъ трубъ для провода значительныхъ количествъ воды съ большимъ напоромъ подъ улицами, вымощенными асфальтомъ или вообще водонепроницаемыми матеріалами. Въ то время какъ на улицахъ шоссированныхъ или съ обыкновенными мостовыми всякій изломъ трубы быстро обнаруживается на поверхности земли, такъ что труба можетъ быть своевременно закрыта, на улицахъ, вымощенныхъ водонепроницаемыми матеріалами онъ долгое время остается незамѣченнымъ и можетъ повлечь за собой весьма дурныя послѣдствія раньше, нежели дознана будетъ ихъ причина. Въ этихъ и имъ подобныхъ случаяхъ, ввидахъ общественной безопасности, преимущественно въ большихъ городахъ, требуется устройство галлерей, главнымъ образомъ для укладки *вѣтвей широкихъ трубъ*. Главное основное условіе техническаго устройства подобныхъ галлерей, само собой разумѣется, состоитъ въ возможности отведенія изъ нихъ воды на дневную поверхность. Если не имѣется стоковъ въ общую канализаціонную сѣть, въ общественныя водохранилища и т. под., то галлереи должны быть безусловно водонепроницаемы и обладать достаточнымъ сопротивленіемъ давленію воды, появляющемуся въ нихъ при устремленіи воды на дневную поверхность черезъ дозорныя шахты. Подобныя галлереи должны обладать достаточной шириной для доступа къ уложеннымъ въ нихъ трубамъ и возможности производства различныхъ исправленій послѣднихъ, какъ подчеканиванія набивки, просверливанія отверстій, разборки и замѣны частей трубъ и проч.



Фиг. 394.

Примѣненіе большихъ сточныхъ каналовъ для закладки въ нихъ напорныхъ трубопроводовъ было разсмотрѣно нами выше, а также и упомянуто въ § 3 настоящаго отдѣла, и на фиг. 277 приведенъ подобнаго рода примѣръ изъ водоснабженія Парижа. *Укладка трубопроводовъ въ тѣсныхъ сточныхъ каналахъ представляетъ собой крупный недостатокъ*, такъ какъ здѣсь производство различныхъ исправленій гораздо затруднительнѣе и опаснѣе, нежели при откопкѣ уложенныхъ въ землѣ трубопроводовъ. Въ случаѣ безусловной надобности въ галлереѣ всегда слѣдуетъ предпочитать отдѣльно устроенную трубную галлерею.

На фиг. 394 показанъ подобный подземный уличный туннель, примѣняемый въ Лондонѣ. Какъ видно изъ чертежа, здѣсь имѣются мѣста для всевозможныхъ надобностей: крытыя галлереи для укладки главныхъ и боковыхъ трубопроводовъ *S*, угольные погреба *K* для прилегающихъ домовъ и проч. Само собой разумѣется, что при подобныхъ сооруженіяхъ стоимость трубопровода значительно повышается. Съ гигіенической точки зрѣнія подобное устройство далеко не можетъ считаться безупречнымъ, такъ какъ внутреннія пространства городскихъ домовъ и приходитъ между собой въ сообщеніе съ воздухомъ туннели на очень длинныхъ разстояніяхъ нѣкотораго рода подвальнаго этажа.

Указанный недостатокъ и весьма значительная стоимость подобныхъ сооруженій само собой ограничиваютъ ихъ примѣненіе упомянутыми выше исключительными случаями. Для большихъ городовъ Гобрехтъ [1]) предлагаетъ устройство подобныхъ подземныхъ сооруженій безъ настоятельной въ нихъ необходимости только въ тѣхъ случаяхъ, когда они при данныхъ условіяхъ представляютъ собой единственныя средства и способъ укладки, а также и содержанія въ исправности трубопровода. Тамъ, гдѣ они устроены и должны вполнѣ отвѣчать своему назначенію — предупреждать разрывки мостовыхъ при замѣнѣ или исправленіи трубъ, всѣ частныя домовыя отвѣтвленія на всемъ занимаемомъ ими протяженіи улицы должны быть уложены въ боковыхъ галлереяхъ.

Впрочемъ при мощеныхъ и шоссированныхъ улицахъ въ небольшихъ городахъ обыкновенно располагаютъ водопроводныя трубы подъ проѣзжею частью улицы. При асфальтированныхъ улицахъ въ большихъ городахъ лучше располагать трубопроводы подъ панелями, причемъ, конечно, устройство угольныхъ погребовъ *K* (фиг. 394) оказывается невозможнымъ.

Во всякомъ случаѣ при скрещеніи трубъ діам. больше 150 миллим., преимущественно тогда, когда нѣсколько вѣтвей сходится въ одной распредѣлительной коробкѣ, слѣдуетъ устроить колодцы для легкаго доступа къ задвижкамъ и распредѣлительнымъ коробкамъ, въ которыхъ обыкновенно должны быть устроены воздухоотводное приспособленіе и шлюзовой спускъ со дна коробки. Такъ какъ машинныя части, какъ задвижки, воздухоотводные краны и т. под., часто требуютъ за собой присмотра, набивки сальниковъ и проч., то при крупныхъ трубопроводахъ, уложенныхъ подъ землей на улицахъ съ сильнымъ движеніемъ, откопка трубъ для упомянутыхъ цѣлей влекла-бы за собой многія весьма сильныя неудобства. При небольшихъ распредѣлительныхъ трубопроводахъ діам. отъ 125 миллим. и меньше, просто отвѣтвленныхъ отъ главной сѣти безъ скрещенія, ввиду сбереженія стоимости устройства, задвижки прямо укладываются въ землѣ и снабжаются предохранительной трубой и уличной тумбой съ колпакомъ.

Провѣтриваніе и выпускъ воздуха изъ городской трубной сѣти въ тѣхъ случаяхъ, когда домовыя отвѣтвленія примыкаютъ къ верхней грани трубъ (см. ниже фиг. 398), производятся сами собой по домовымъ отвѣтвленіямъ. Если-же домовыя отвѣтвленія берутся сбоку главной трубы, то всѣ наиболѣе возвышенныя мѣста главной сѣти должны быть снабжены приспособленіями для самодѣйствующаго провѣтриванія, какъ напр. самодѣйствующими воздушными клапанами, постоянно открытыми разборными кранами и т. под.

Весьма существенною необходимостью всѣхъ распредѣлительныхъ сѣтей — хотя это можетъ оспариваться другими – мы признаемъ устройство промывныхъ отверстій, т. е. шлюзовыхъ спусковъ во всѣхъ наиболѣе низкихъ пунктахъ каждой отдѣльной магистральной вѣтви. Опорожненіе или промывка производится простымъ открываніемъ спускной задвижки или-же отвинчиваніемъ глухой крышки на флянцѣ, помощью которыхъ производится опорожненіе въ глубже лежащій каналъ, водостокъ, и т. под. или-же въ устроенные подъ землей поглотительные колодцы. Только такимъ путемъ изъ каждой вѣтви трубъ могутъ быть удалены отлагающіеся въ ней съ теченіемъ времени осадки; удаленіе этихъ осадковъ черезъ гидранты происходитъ весьма несовершенно.

Гидранты представляютъ собой весьма необходимую составную часть всякой трубной сѣти. Въ зависимости отъ напора воды въ сѣти и способа употреб-

[1]) Hobrecht, J. Die modernen Aufgaben des grossstädtischen Strassenbaues mit Rücksicht auf die Unterbringung der Strassennetze. 1890.

ленія гидрантовъ послѣдніе располагаются на взаимныхъ разстояніяхъ въ 50 до 100 метр. Разстояніе между гидрантами можетъ быть увеличено, а слѣд. число гидрантовъ можетъ быть меньше, если поливка улицъ производится помощью отдѣльныхъ поливочныхъ повозокъ, наполняемыхъ водой изъ гидрантовъ, которые въ этомъ случаѣ не служатъ для непосредственнаго тушенія пожаровъ, а только для доставленія воды пожарнымъ насосамъ. Однако въ практикѣ встрѣчается очень мало распредѣлительныхъ сѣтей, на которыхъ гидранты расположены на разстояніяхъ больше 100 или меньше 50 метр.

Описаніе деталей всѣхъ этихъ приспособленій составляетъ отдѣльный предметъ и въ программу настоящей книги не входитъ.

Въ заключеніе этой главы, въ дополненіе къ сказанному выше (гл. 9 отд. II и гл. 7 наст. отд.), можемъ здѣсь добавить, что въ большихъ городахъ распредѣлительные трубопроводы могутъ быть расположены по поясамъ (ср. гл. 7), такъ какъ въ этихъ случаяхъ діаметры трубъ могутъ быть приняты совершенно опредѣленными безъ соображенія съ дальнѣйшимъ расширеніемъ сѣти, а это въ свою очередь имѣетъ то преимущество, что при разсчетахъ не приходится имѣть дѣло съ неопредѣленными коэффиціентами, приведенными нами въ гл. I для разсчетовъ на могущій увеличиться расходъ воды. Кромѣ того діаметры трубъ въ этихъ случаяхъ не выходятъ слишкомъ большими, что можетъ считаться преимуществомъ по отношенію къ упомянутымъ въ гл. 2 и 7 недостаткамъ широкихъ трубъ. Весьма ошибочно располагать сѣть такъ, чтобы на мало населенныхъ въ настоящее время улицахъ по истеченіи нѣкотораго времени приходилось дополнять сѣть отдѣльными дополнительными магистральными проводами. При появленіи на подобныхъ улицахъ новыхъ построекъ ихъ необходимо тотчасъ-же снабдить водой, и если не желательно безполезно затратить большія средства, то приходится устраивать временныя сѣти, удаленіе которыхъ послѣ укладки постоянныхъ сѣтей представитъ собой не малыя затрудненія. Если приростъ населенія происходитъ нѣсколько иначе, чѣмъ это было предположено, то въ проектированной системѣ потребуются нѣкоторыя измѣненія; большей частью всѣ предположенія, первоначально казавшіяся довольно практичными, впослѣдствіи не могутъ считаться правильнымъ рѣшеніемъ задачи, и т. д.

Впрочемъ въ большихъ городахъ, гдѣ почва постоянно разрыхляется устройствомъ каналовъ, прокладкой электрическихъ проводовъ и т. д., появленіе различныхъ неплотностей въ трубахъ является совершенно неизбѣжнымъ, и этому необходимо ему противодѣйствовать возможною тщательностью укладки трубопроводовъ.

9. Отвѣтвленія отъ трубныхъ сѣтей.

Общія соображенія. Отвѣтвленія отъ трубныхъ сѣтей обыкновенно проводятся въ общественныя и частныя зданія, къ гидрантамъ, къ общественнымъ водоразборнымъ колодцамъ; въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти отвѣтвленія служатъ также для оросительныхъ сооруженій, для заводскихъ цѣлей, желѣзныхъ дорогъ и проч. Во всякомъ подобномъ случаѣ для возможности опредѣленія размѣровъ отвѣтвленныхъ трубопроводовъ или высотъ напора, требуемыхъ для образованія истока при данныхъ размѣрахъ трубъ, необходимо знать или впередъ задать количество протекающей черезъ отвѣтвленіе воды. При нѣкоторыхъ обстоя-

тельствахъ данныя для относящагося сюда вычисленія бываютъ чрезвычайно различны: иногда для питанія гидрантовъ требуется большій напоръ, нежели для питанія истоковъ въ самыхъ высокихъ домахъ, или для питанія общественныхъ разборныхъ крановъ, промышленныхъ сооруженій, и наоборотъ. Эти свѣдѣнія необходимо выяснить до приступленія къ вычисленіямъ.

Вычисленія должны производиться по наименьшему діаметру распредѣлительной трубы въ сѣти, который для питанія гидрантовъ въ городахъ долженъ быть принятъ не меньше 100 миллиметр.

Высота напора. Если получаемая отъ гидранта струя воды должна непосредственно служить для тушенія пожаровъ и соотвѣтственно этой цѣли достигнуть высоты напр. около 20 метр., то при обыкновенно принятой ширинѣ выпускного отверстія брандспойта въ 20 миллим., какъ увидимъ ниже въ отд. IV гл. 19, потребная высота напора H передъ сѣченіемъ истока опредѣляется изъ уравненія

$$20 = \frac{H}{1 + 0{,}0090\,H},$$

откуда получаемъ $H = 24{,}4$ метр. Этой высотѣ напора и данной площади сѣченія при діаметрѣ круглаго истока въ 20 миллим. соотвѣтствуетъ количество истекающей воды

$$Q = 0{,}95 \,.\, 3{,}1416 \,.\, 0{,}01^2 \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 24{,}4} = 0{,}0066 \text{ куб. метр.}$$

Принимая во вниманіе, что вода изъ главной трубы поступаетъ въ отвѣтвленіе съ нѣкоторой, хотя незначительной, начальной скоростью, можно вычисленное количество истекающей воды округлить до 7 литр. въ секунду. Въ этомъ случаѣ скорость въ уличной трубѣ діам. 100 миллим. при притокѣ съ одной стороны составляетъ 1 метръ, а при притокѣ съ 2-хъ сторонъ — 0,5 метр. въ секунду.

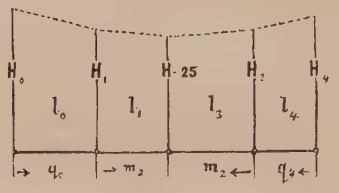
Если на питаемой съ двухъ сторонъ трубѣ расположено большее число гидрантовъ, напр. три, какъ на прилагаемомъ чертежѣ, то получаются уравненія

$$q_0 + q_4 = 3 \,.\, 0{,}007 = 0{,}021\,;\; q_0 = 0{,}007 + m_1\,;\; q_4 = 0{,}007 + m_3\,;$$

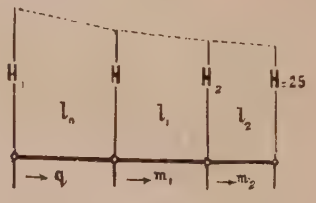
$$H_0 - H_1 = \frac{\lambda\, q_0^2\, l_0}{D^5}\,;\; H_1 - 25 = \frac{\lambda\, m_1^2\, l_1}{D^5}\,;$$

$$H_3 - 25 = \frac{\lambda\, m_3^2\, l_3}{D^5}\,;\; H_4 - H_3 = \frac{\lambda\, q_4^2\, l_1}{D^5}\,.$$

Такъ какъ въ эти уравненія входятъ 8 неизвѣстныхъ (q_0, q_4, m_1, m_3, H_0, H_1, H_3, H_4), то для



Фиг. 95.



Фиг. 396.

рѣшенія этихъ ур-ій необходимо впередъ задать себѣ нѣкоторое отношеніе $H_0 : H_4$ или-же значеніе одной изъ этихъ величинъ (конечно > 25 метр.). Тогда потребная для питанія гидрантовъ наименьшая высота напора получается равною большей изъ обоихъ значеній H_0 и H_4.

Если гидрантная вѣтвь питается съ одной только стороны, то получаются уравненія

$$q = 0{,}007 \,.\, 3 = 0{,}021\,;\; m_1 = 0{,}007 \,.\, 2 = 0{,}014\,;\; m_2 = 0{,}007$$

$$H_0 - H_1 = \frac{\lambda\, q^2\, l_0}{D^5}\,;\; H_1 - H_2 = \frac{\lambda\, m_1^2\, l_1}{D^5}\,;\; H_2 - 25 = \frac{\lambda\, m_2^2\, l_2}{D^5}\,,$$

которыя допускаютъ послѣдовательное опредѣленіе величинъ H_2, H_1 и H_0, а слѣд. и установленіе наибольшей высоты напора H_0 въ сѣти для питанія гидрантовъ. Само собой разумѣется, что въ тѣхъ городахъ, въ которыхъ высота струи не достигаетъ высоты 20 метр., вычисленіе должно производиться по наибольшему числу этажей домовъ и при другомъ значеніи s (по ур. 1) гл. 19 отд. IV). Если можно пренебречь непосредственнымъ

тушеніемъ пожаровъ посредствомъ гидрантовъ, то при вычисленіяхъ необходимо принять во вниманіе нижеприведенныя наименьшія высоты напора для водоснабженія домовъ или для промышленныхъ цѣлей [1]).

Трубопроводы къ зданіямъ или такъ называемыя домовыя отвѣтвленія вычисляются сообразно системѣ отдачи воды. Если домовая вѣтка оканчивается въ домовомъ напорномъ резервуарѣ, который наполняется періодически или постепенно помощью клапана съ поплавкомъ, то опредѣленіе діаметра производится такъ-же, какъ и для главныхъ распредѣлительныхъ трубопроводовъ. Если, какъ обыкновенно, отвѣтвленіе проведено прямо къ истокамъ безъ промежуточнаго резервуара, то оно всегда устраивается опредѣленныхъ условныхъ размѣровъ, а именно внутреннимъ діаметромъ не меньше 20 миллим. и не больше 50 миллиметр. При этомъ діаметры трубъ опредѣляются сообразно числу крановъ, а именно укладываютъ:

трубы	діам.	20	миллим.	при	10 кранахъ
„	„	25	„	„	10—20 „
„	„	30	„	„	20—40 „
„	„	40	„	„	40—60 „
„	„	50	„	„	60—80 „

Потери напора въ этихъ трубопроводахъ, конечно, бываютъ весьма различны, въ зависимости отъ того, открытъ-ли одинъ или нѣсколько выпускныхъ крановъ одновременно; но въ большинствѣ случаевъ эти потери напора весьма велики, такъ какъ внутри зданій для распредѣлительныхъ трубъ употребляются еще меньшія трубки (въ 13 миллим.), особенно при небольшомъ числѣ крановъ.

Мы держимся того взгляда, что никакой трубопроводъ не долженъ быть сдѣланъ въ діаметрѣ меньше 25 миллиметр. Принимая, что расходъ изъ одного крана составляетъ 0,30 литр. въ секунду, и что одновременно могутъ быть открыты по меньшей мѣрѣ два или три крана, получаемъ расходъ воды, протекающей по трубѣ, въ 0,9 литр. въ секунду, и при діаметрѣ 25 миллим. въ трубѣ появляется скорость теченія въ 2 метра въ секунду. Одновременно съ этимъ при данномъ количествѣ протекающей воды при $\lambda = 0{,}0112$ (см. отд. IV гл. 15) потеря напора на 1 пог. метръ длины составляетъ 0,9 метр. Отсюда легко видѣть, что при длинныхъ трубопроводахъ высота напора подъ выше расположенными кранами уменьшается, вслѣдствіе чего происходитъ всасываніе воздуха, или-же упомянутый расходъ воды дѣлается просто невозможнымъ, т. е. изъ крановъ вытекаютъ значительно меньшія количества, нежели это было принято нами.

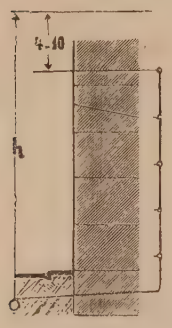
Если-же вмѣсто 25-ти миллиметровой трубы будетъ положена труба діам. въ 40 миллим., то при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ потеря напора не превысить 0,09 метр. на 1 пог. метръ длины, такъ что при всей длинѣ трубопровода въ 100 метр. при трехъ открытыхъ кранахъ потеря напора (независимо отъ особыхъ потерь) составитъ 9 метр.

Нашъ опытъ показалъ намъ, что при давленіи въ сѣти отъ 3 до 4 атмосф. или менѣе для среднихъ жилыхъ домовъ съ 10—20 кранами требуется діаметръ домоваго отвѣтвленія въ 30 миллим., для жилыхъ домовъ съ 20—40 кранами требуется діаметръ домоваго отвѣтвленія въ 40 миллим., при числѣ крановъ 40—60 діаметръ домоваго отвѣтвленія долженъ быть въ 50 миллим.; вышеприведенные діаметры оказываются достаточными только при очень высокихъ давленіяхъ (6 до 10 атмосф.), т. е. при этихъ давленіяхъ можетъ производиться водоснабженіе и высшихъ этажей домовъ безъ частыхъ перерывовъ.

Впрочемъ происходящія въ отвѣтвленіяхъ потери напора могутъ быть приблизительно вычислены, т. е. при данной высотѣ напора въ трубопроводѣ и опредѣленныхъ количествахъ истекающей воды въ опредѣленныхъ мѣстахъ можно опредѣлить требуемые діаметры трубопровода, или наоборотъ, по данному діаметру трубопровода и проч. можно опредѣлить высоту напора, потребную для даннаго количества истекающей воды. Но такъ какъ въ заданіи количества истекающей воды (т. е. въ количествѣ открытыхъ крановъ) существуетъ нѣ-

[1]) Во многихъ случаяхъ, преимущественно въ городахъ Англіи и Америки, встрѣчаются особые водопроводы съ высокимъ напоромъ (50 атм. и больше) спеціально для промышленныхъ цѣлей. Въ этихъ случаяхъ расположенные на обыкновенной сѣти гидранты соединяются съ трубопроводами высокаго напора помощью небольшого діаметра трубъ, оканчивающихся въ расположенномъ на гидрантной трубѣ струйномъ аппаратѣ, служащемъ для увеличенія производительности гидрантовъ.

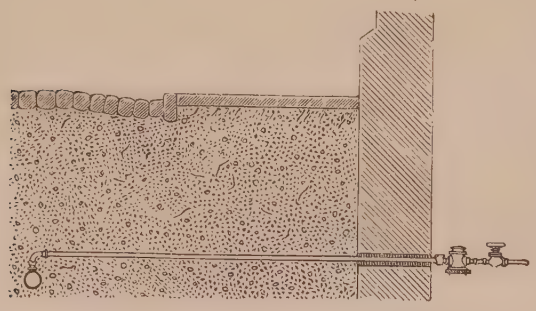
который произволъ, и было-бы весьма непрактично опредѣлять размѣры трубъ такимъ образомъ, чтобы всѣ краны въ всѣхъ этажахъ одновременно могли-бы давать воду, то обыкновенно принимаютъ, что высота напора въ уличной сѣти достаточна для домоваго водоснабженія въ томъ случаѣ, когда она на 4 до 10 метр. превышаетъ высоту наивысшаго крана дома (ср. фиг. 397). Это добавочное число, или избытокъ напора, должно быть принято тѣмъ больше, чѣмъ больше число этажей снабжаемаго дома. Въ большинствѣ германскихъ городовъ, въ которыхъ обыкновенно дома строятся только до 4 этажей, этотъ избытокъ напора долженъ быть между 4 и 5 метр., и достигаетъ своего максимума въ 10 метр. въ Американскихъ городахъ съ ихними жилыми башнями. Само собой разумѣется, эта высота напора должна существовать въ сѣти въ день наибольшаго расхода при наибольшемъ часовомъ потребленіи. Во все остальное время она, конечно, бываетъ больше. Согласно этому большей частью опредѣляется такъ называемая нормальная высота напора въ сѣти, т. е. наименьшая высота напора, о которой мы говорили выше (см. § 2 этого отд.).



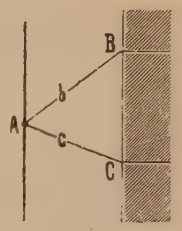
Фиг. 397.

Если помимо наименьшей высоты напора, потребной для питанія гидрантовъ, и нормальной высоты напора водопровода въ сѣти требуется высота напора, обусловливаемая особыми промышленными и другими цѣлями, то она вычисляется по одному изъ приведенныхъ нами для этого способовъ, причемъ изъ получаемыхъ при вычисленіяхъ трехъ высотъ напора выбирается наибольшая, и т. д. Но обыкновенно въ городскихъ водопроводныхъ сѣтяхъ не допускаются слишкомъ большія высоты напора (напр. 50 атм. или болѣе), требуемыя для промышленныхъ цѣлей, а большей частью для послѣдней цѣли укладываются отдѣльные трубопроводы.

Домовыя отвѣтвленія представляютъ собой наиболѣе важную часть всякаго водоснабженія въ томъ отношеніи, что производимый изъ нихъ расходъ составляетъ главную цѣль устройства всего сооруженія. Выполненіе ихъ требуетъ большой тщательности, и на прочность употребляемыхъ для нихъ матеріаловъ должно быть обращено весьма серьезное вниманіе. Поэтому мы держимся того мнѣнія, что для домовыхъ отвѣтвленій должны быть употреблены исключительно только чугунныя трубы, если только этому не препятствуютъ особыя исключительныя условія, напр. болотистая почва, содержаніе въ ней солей и т. д. Эти трубы на всѣхъ крупныхъ чугуно-литейныхъ заводахъ изготовляются различныхъ діаметровъ, начиная съ 25 миллиметровъ. Трубы изъ желѣза, свинца, оловянныя трубы съ свинцовыми оболочками и проч. менѣе могутъ быть рекомендованы для этой цѣли. Чугунныя отвѣтвленія отводятся отъ трубной сѣти помощью отдѣльныхъ соединительныхъ частей (тройниковъ въ видѣ буквы *A*); эти отвѣтвленія могутъ быть боковыми, причемъ ось отвѣтвленія располагается почти горизонтально, или-же вертикальными, какъ показано на фиг. 398; послѣдній способъ мы признаемъ болѣе удобнымъ въ видахъ лучшаго провѣтриванія сѣти, а потому и примѣняемъ его во всѣхъ нашихъ работахъ. Во всякомъ случаѣ большею частью при укладкѣ трубы необходимо закрыть отводное отверстіе глухимъ флянцемъ, такъ какъ въ рѣдкихъ только случаяхъ одновременно прокладываются главные трубопроводы и отвѣтв-

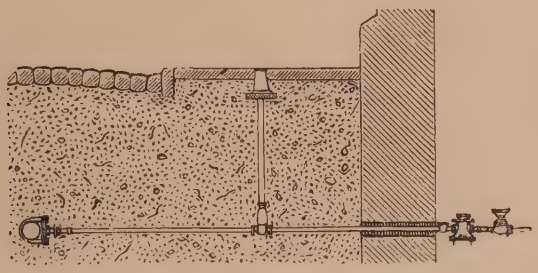

Фиг. 398.

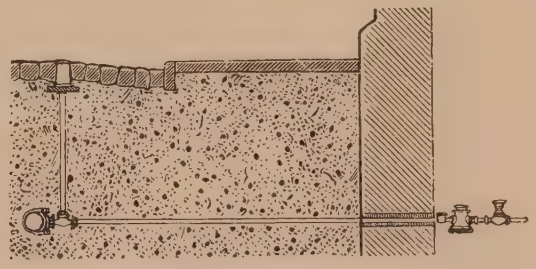
ленія. Поэтому отводы не только должны быть расположены въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ отводъ домовыхъ (частныхъ) отвѣтвленій оказывается наиболѣе цѣлесообразнымъ, но необходимо также точно обозначить эти мѣста для болѣе удобнаго ихъ нахожденія впослѣдствіи. Обыкновенно для этой цѣли употребляется способъ, состоящій въ томъ, что длина фассада дома BC (фиг. 399) принимается за основаніе треугольника, въ которомъ опредѣляются 2 стороны b и c; если впослѣдствіи потребуется найти отводъ A, то закрѣпляютъ концы веревки или мѣрительной ленты длиной $b + c$ въ B и C и натягиваютъ ее такимъ образомъ, чтобы на ней получилась длина одной изъ сторонъ (b или c), измѣряемая отъ A.



Фиг. 399.

Если отвѣтвленіе производится желѣзными, свинцовыми, оболочечными трубами и проч., то отводныя трубки обыкновенно присоединяются къ уличной трубѣ помощью хомутовъ, какъ это показано на фиг. 400 и 401. Подобное устройство требуетъ просверленія магистральной трубы, а слѣд. во всякомъ случаѣ вызываетъ ослабленіе трубы, причемъ стоимость его нисколько не ниже стоимости отвѣтвленія помощью фасонныхъ частей; но этотъ способъ удобнѣе въ томъ отношеніи, что при укладкѣ трубъ нѣтъ необходимости принять во вниманіе могущія впослѣдствіи потребоваться отвѣтвленія, и эти послѣднія могутъ быть устроены въ произвольномъ мѣстѣ трубы (исключая, конечно, мѣстъ стыковъ, муфтъ и т. д.). Впрочемъ отвѣтвленія діаметромъ больше 30 миллим. никогда не дѣлаются по этому способу, такъ какъ при этомъ діаметрѣ главная труба значительно ослабляется просверливаемыми въ ней отверстіями.


Фиг. 400.

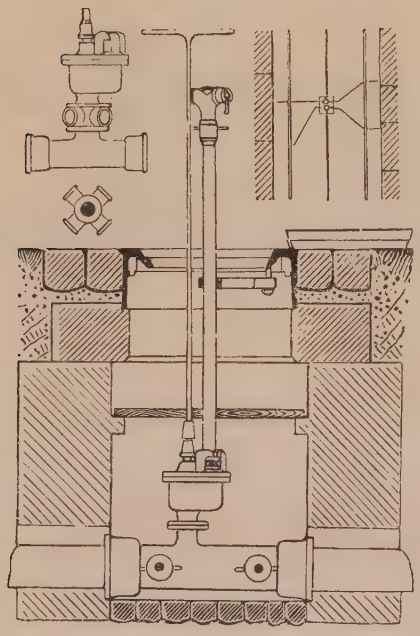

Фиг. 401.

Кромѣ того этотъ способъ отвѣтвленія имѣетъ то преимущество предъ отвѣтвленіемъ помощью фасонныхъ частей, что работа можетъ быть произведена при существующемъ въ сѣти напорѣ, такъ какъ для этой цѣли имѣются приспособленія, помощью которыхъ трубы просверливаются во время дѣйствія водоснабженія (подъ напоромъ), между тѣмъ какъ отвѣтвленіе помощью фасонныхъ частей можетъ быть произведено только въ опорожненной сѣти. Впрочемъ это преимущество является только въ смыслѣ удобства работъ, и по нашему мнѣнію его слѣдуетъ принять въ соображеніе лишь тогда, когда одинаковая или нѣсколько уменьшенная стоимость работъ не идетъ въ ущербъ прочности сооруженія.

За отвѣтвленіемъ обыкновенно располагается запорный вентиль, который

помѣщается или непосредственно вблизи главной трубы (на улицѣ, фиг. 400)[1]), или-же на нѣкоторомъ разстояніи отъ оси трубы (на панели, какъ на фиг. 401); впрочемъ существуютъ водопроводы, въ которыхъ запорные вентили расположены въ частныхъ владѣніяхъ абонентовъ. Но въ первомъ случаѣ достигается двойной затворъ, такъ какъ во всякомъ случаѣ необходимо долженъ быть устроенъ второй затворъ, болѣе доступный владѣльцу отвѣтвленія.

При устройствѣ двойныхъ затворовъ необходимо имѣть въ виду, что для закрытія притока воды въ случаѣ надобности весьма желательно обойтись безъ хожденія по чужимъ владѣніямъ (мы здѣсь, конечно, имѣемъ въ виду тѣ городскіе водопроводы, въ которыхъ улица или дорога составляетъ собственность водопроводнаго общества или предоставлена концессіонеру для пользованія въ силу концессіи). Подобный случай можетъ имѣть мѣсто, напр., при изслѣдованіи потери въ сѣти помощью спеціальнаго водомѣра и т. д. Впрочемъ ввиду того, что проходъ по частнымъ владѣніямъ большею частью не встрѣчаетъ особыхъ затрудненій, во многихъ случаяхъ наружный затворъ (уличный вентиль) вовсе не ставится, преимущественно въ небольшихъ сооруженіяхъ, гдѣ это составляетъ немаловажное сбереженіе. При отвѣтвленіяхъ для гидрантовъ подобные запорные клапаны обыкновенно не ставятся.



Фиг. 402.

Въ Вюртембергѣ въ большинствѣ городскихъ водопроводовъ встрѣчаемъ такое устройство, что гидранты расположены въ колодцахъ, и отъ этихъ колодцевъ проведены частныя отвѣтвленія изъ желѣзныхъ гальванизированныхъ трубъ, какъ показано на фиг. 402. Въ этихъ колодцахъ расположены запорные вентили, которые такимъ образомъ вполнѣ доступны. Но эта система проводки требуетъ болѣе длинныхъ домовыхъ отвѣтвленій, нежели выше описанныя; для дѣйствительной практичности этого способа колодцы должны быть сдѣланы довольно обширными и не лежать въ области грунтовыхъ водъ, что въ свою очередь значительно увеличиваетъ стоимость сѣти.

Затворы на сѣтяхъ въ частныхъ владѣніяхъ обыкновенно располагаются въ подвалахъ или, если отвѣтвленіе проходитъ черезъ сады, дворы и проч., то запорные вентили располагаются въ особыхъ легко доступныхъ дозорныхъ колодцахъ. Обыкновенно соединяютъ вмѣстѣ запорный и спускной вентили. Въ тѣхъ случаяхъ, когда отпускъ воды производится по водомѣру, послѣдніе вентили распола-

[1]) Нельзя категорически указать, какое расположеніе запорнаго вентиля лучше: непосредственно-ли за отвѣтвленіемъ на улицѣ, или-же на панели; послѣднее расположеніе обыкновенно предпочитается потому, что уличное движеніе здѣсь меньше препятствуетъ различнымъ манипуляціямъ съ этимъ вентилемъ, и что мѣста отвѣтвленій (крышки уличныхъ колпаковъ) здѣсь легче могутъ быть отысканы. Если запорное приспособленіе расположено рядомъ съ главной трубой, то является то удобство, что при всякихъ исправленіяхъ отвѣтвленной сѣти она можетъ быть замкнута безъ опорожненія главной трубы, что оказывается невозможнымъ, если поврежденіе произошло между запорнымъ вентилемъ на панели и главной

гаются предъ запорными, такъ какъ въ противномъ случаѣ владѣлецъ имѣлъ-бы возможность спускать воду по спускному крану помимо водомѣра.

Иногда въ подобныхъ случаяхъ предъ водомѣромъ располагается еще обратный клапанъ, какъ это показано на фиг. 400 и 401. Этотъ клапанъ служитъ для препятствованія обратному теченію воды, а слѣд. для исключенія фальшивыхъ показаній водомѣра. Подобныя обратныя теченія происходятъ весьма часто при сильно измѣняющемся напорѣ и высоко расположенной снабжаемой мѣстности; безъ этого клапана при колебаніяхъ давленій водяной столбъ (см. отд. IV, гл. 18) измѣряетъ только проходящую впередъ воду, а не обратную, причемъ водомѣръ отмѣтитъ количество воды, въ дѣйствительности не израсходованную абонентомъ. Впрочемъ отъ ударовъ воды въ трубопроводахъ сзади клапана въ домовомъ отвѣтвленіи часто появляется давленіе, значительно превышающее нормальное, но которое однако по своему дѣйствію[1]) никогда не можетъ быть больше давленія, происходящаго въ отвѣтвленіи во время удара обратнаго клапана. Если домовый трубопроводъ одинаково проченъ, какъ и отвѣтвленіе, то упомянутое нами опасеніе совершенно исключается, и всякія особыя мѣры дѣлаются излишними.

Всѣ отвѣтвленія, находящіяся въ дѣйствіи втеченіи всего года, должны быть уложены на такой глубинѣ, на которой не происходило-бы замерзанія воды зимой и слишкомъ замѣтнаго нагрѣванія ея лѣтомъ (см. гл. 5). Толщина земляного покрова, удовлетворяющая этому условію, въ среднемъ климатѣ составляетъ около 1,5 метр., хотя очень часто трубы укладываются въ землю на глубину 1,2 метр. Если отвѣтвленія не употребляются въ зимнее время (какъ напр. садовыя отвѣтвленія, провода къ фонтанамъ и т. д.), то по отношенію толщины земляного покрова мы никакими условіями не связаны.

Какъ и при главныхъ трубопроводахъ, въ домовыхъ и вообще частныхъ отвѣтвленіяхъ необходимымъ требованіемъ является возможность ихъ провѣтриванія и опорожненія; поэтому въ наиболѣе низкихъ точкахъ трубопровода должны быть устроены спускные вентили, а наиболѣе высокія точки для провѣтриванія и выпусканія воздуха изъ сѣти должны быть соединены съ вертикальными трубами, ведущими къ разборнымъ кранамъ, или-же съ постоянными спусками воды.

Домовые трубопроводы. При постоянномъ водоснабженіи расположеніе домоваго трубопровода почти всегда выбирается такъ, что-бы расходъ воды происходилъ-бы непосредственно изъ трубы; въ рѣдкихъ только случаяхъ, преимущественно при перемежающемся водоснабженіи, трубная сѣть сперва направляетъ воду въ бакъ, изъ котораго она уже поступаетъ въ распредѣлительный трубопроводъ по дому.

Въ послѣднемъ случаѣ температура и качество распредѣляемой по дому воды обусловливается температурой и состояніемъ помѣщенія, въ которомъ

трубой. Мы однако полагаемъ, что такъ какъ расположеніемъ запорныхъ вентилей на улицѣ не достигается никакихъ сбереженій, то слѣдуетъ предпочитать расположеніе ихъ на панели, гдѣ они болѣе предохранены отъ поврежденій, преимущественно на шоссированныхъ улицахъ и въ городахъ, еще не имѣющихъ канализаціи.

[1]) Повышенное давленіе въ домовомъ отвѣтвленіи за клапаномъ можетъ образоваться только отъ прониканія воды при ударахъ, а послѣдняя можетъ проникать лишь тогда, когда въ отвѣтвленіи предъ клапаномъ существуетъ еще болѣе высокое давленіе.

находится бакъ. Такъ какъ обыкновенно бакъ помѣщается на чердакѣ дома, то необходимо озаботиться о предупрежденіи попаданія въ резервуаръ пыли, а также и объ устройствѣ надлежащаго отопленія и вентиляціи для предупрежденія нагрѣванія воды въ бакѣ лѣтомъ и замерзанія ея зимой. При этой системѣ распредѣленіе воды происходитъ сверху внизъ.

При непосредственномъ притокѣ воды изъ сѣти къ мѣсту расхода водоснабжаніе дома происходитъ снизу вверхъ; при каждомъ расходѣ воды изъ крана, въ трубу поступаетъ свѣжая вода изъ сѣти, такъ что потребитель имѣетъ возможность получать воду съ одинаковой температурой и приблизительно одинаковыхъ качествъ зимой и лѣтомъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ трубной сѣти предъ отвѣтвленіемъ. Это условіе главнымъ образомъ можетъ быть выполнено устройствомъ постояннаго истока, расположеннаго такъ, что во всемъ домовомъ трубопроводѣ происходитъ круговое теченіе воды (за исключеніемъ только короткихъ разстояній отъ вертикальныхъ подъемныхъ трубъ до закрытыхъ кранова). Подобная циркуляція воды, какъ въ знойное лѣто, такъ и въ суровую зиму, производится постоянно въ водопроводахъ съ безконтрольнымъ отпускомъ воды безъ взиманія съ потребителя платы за соотвѣтственно увеличенный расходъ воды. Если-же отпускъ воды производится по водомѣрамъ, то подобная циркуляція воды устраивается весьма рѣдко, а вмѣсто нея стремятся къ устраненію вліянія жара лѣтомъ и холода зимой уже при первоначальной укладкѣ трубъ. При этомъ необходимо принять въ соображеніе нѣкоторыя обстоятельства.

Каждый домовый трубопроводъ для возможности остановокъ при исправленіяхъ долженъ допускать опоражниваніе во всѣхъ своихъ частяхъ; во время сильныхъ морозовъ подобное опорожненіе неизбѣжно для всѣхъ трубъ, проходящихъ черезъ неотапливаемыя помѣщенія. Въ среднихъ и большихъ домахъ устраиваютъ опорожненіе отдѣльныхъ частей трубопровода, снабжая всѣ проходящіе черезъ холодныя помѣщенія трубопроводы отдѣльными створными (переходными) кранами и выпускными вентилями. Трубы, ведущія къ отдѣльнымъ этажамъ, должны быть направлены отъ подвала по возможности вертикально; такимъ образомъ всѣ горизонтальныя отвѣтвленія къ отдѣльнымъ вертикальнымъ трубкамъ за поступленіемъ домовой вѣтви въ подвалъ должны быть расположены въ послѣднемъ. Тамъ, гдѣ это выполнимо, можно совѣтовать соединить различные краны одного этажа съ одной вертикальной трубой, такъ какъ при этомъ уменьшается опасность при дѣйствіи водоснабженія, а также и общая начальная стоимость устройства. Слѣдуетъ по возможности избѣгать укладки длинныхъ совершенно или почти горизонтальныхъ трубъ въ различныхъ этажахъ домовъ, а въ случаѣ надобности ихъ никогда не слѣдуетъ укладывать подъ поломъ, а постоянно проводить вдоль потолка. Если отдѣльныя вертикальныя трубки въ большомъ зданіи находятся на значительныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ, а подвальныя помѣщенія подъ домомъ не находятся между собой въ прямомъ сообщеніи, то домовыя отвѣтвленія слѣдуетъ отвести отъ уличной трубы въ нѣсколькихъ отдѣльныхъ мѣстахъ..

Само собой разумѣется, для укладки трубъ слѣдуетъ воспользоваться главнымъ образомъ тѣми помѣщеніями, которыя не подвержены дѣйствію морозовъ (какъ напр. подвалы, кухни, промежуточныя стѣны жилыхъ помѣщеній и проч.).. Всѣ приспособленія для запиранія и опоражниванія должны быть легко доступны

Устройство домовыхъ противопожарныхъ приспособленій [1]) будетъ цѣлесообразно лишь тогда, когда они всякимъ легко могутъ быть найдены, т. е. когда они не запрятаны по угламъ комнаты.

Трубопроводы должны быть уложены такимъ образомъ, чтобы по направленію теченія воды трубы меньшаго діаметра отводились отъ трубъ большаго діаметра, и чтобы каждая отдѣльная вѣтвь представляла собой кратчайшій путь отъ главной сѣти къ разборному крану. Трубы должны быть прикрѣплены крючками и обложены щитами для предохраненія ихъ отъ поврежденій; при проводѣ черезъ стѣны трубы должны быть снабжены глиняными обкладками и нигдѣ не должны быть задѣланы наглухо и оштукатурены.

Обыкновенно для разборнаго крана въ 10 милл. проводится трубка въ 13 миллим., для разборнаго крана въ 13 миллим проводится трубка въ 15 до 20 миллим., какъ это дѣлается напр. для выпускныхъ кранова въ кухняхъ, при умывальникахъ, въ стѣнныхъ разборныхъ кранахъ и проч. Для ванныхъ комнатъ, ватеръ-клозетовъ, прачешныхъ, и вообще вездѣ, гдѣ требуется большой расходъ воды, ставятся краны въ 13 до 15 миллим. и трубки по меньшей мѣрѣ въ 20 миллим. Во всякомъ случаѣ трубка всегда дѣлается большаго діаметра, нежели сидящій на ней кранъ.

Какъ указано было выше, діаметры трубопроводовъ должны быть выбраны не слишкомъ бережливо, при чемъ во всякомъ случаѣ слѣдуетъ держаться вышеприведенныхъ правилъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ давленіе въ трубахъ падаетъ весьма быстро и сильно, чѣмъ производится всасываніе воздуха черезъ выпускные краны, какъ это видно изъ нижеприведеннаго примѣра, заимствованнаго изъ „Journal für Gasbel. u. Wasserv.“.

Въ одномъ пятиэтажномъ домѣ на 13-и миллиметровой вертикальной трубѣ находились:

на	разстояніи:	1,6	метр.	надъ	поломъ	въ	подвальн. этажѣ	1	кранъ	въ 19 милл.
„	„	5,0	„	„	„	„	I „	1	„	„ 13 „
„	„	10,0	„	„	„	„	II „	1	„	„ 13 „
„	„	14,0	„	„	„	„	III „	1	„	„ 13 „
„	„	19,0	„	„	„	„	IV „	1	„	„ 13 „
„	„	23,0	„	„	„	„	V „	1	„	„ 13 „

Давленіе въ непосредственно сосѣдней сѣти соотвѣтствовало высотѣ напора въ 63 метр. При расходѣ 31,8 литр. въ минуту изъ крана подвальнаго этажа черезъ краны второго и высшихъ этажей происходило всасываніе воздуха. Соединивши эти всасывающіе краны помощью рукавовъ съ водянымъ резервуаромъ, получали скорость u всасываемой воды и соотвѣтствующія данному расходу количества Q воды:

въ	V	этажѣ	$u = 0{,}37$	метр. въ секунду	$Q = 3{,}0$ литр. въ минуту
„	IV	„	$= 0{,}22$	„ „ „	$Q = 1{,}8$ „ „ „
„	III	„	$= 0{,}37$	„ „ „	$Q = 3{,}0$ „ „ „
„	II	„	$= 0{,}30$	„ „ „	$Q = 2{,}4$ „ „ „

[1]) Вообще значеніе подобныхъ приспособленій слишкомъ преувеличено. При пожарѣ въ домѣ жители не пользуются этими приспособленіями, такъ какъ каждый стремится прежде всего спасти свое имущество, и даже если отдѣльныя лица сохраняютъ при этомъ присутствіе духа и обладаютъ умѣньемъ пользоваться этими приспособленіями, то и тогда польза оказывается весьма сомнительной, такъ какъ часто вслѣдствіе дыма и жары невозможно даже подступиться къ этимъ кранамъ.

Дальнѣйшіе опыты дали результаты, показанные въ слѣдующей таблицѣ.

№ испытанія	Количество воды въ подвальномъ этажѣ въ минуту литр.	Скорость въ трубѣ въ секунду метр.	Потеря напора въ метрахъ		Количество воды въ вертик. трубѣ въ V этажѣ въ минуту литр.	Скорость въ вертикальной трубѣ въ секунду метр.	Потеря напора въ вертикальной трубѣ метр.	Общій расходъ въ подвальномъ и V этажѣ въ минуту литр.
			По наблюденію	Вычисленная				
1	10,56	1,326	7	—	—	—	—	—
2	15,00	1,883	14	—	—	—	—	—
3	19,73	2,479	22	—	—	—	—	—
4	25,00	3,139	37	—	—	—	—	—
5	9,54	2,042	—	16,6	6,72	0,844	3,4	16,26
6	8,70	2,411	—	21,6	10,50	1,318	8,4	19,20
7	8,46	2,456	—	25,8	11,10	1,394	9,2	19,56
8	13,62	2,517	—	22,5	5,82	0,730	2,5	19,44
9	13,38	2,60	—	26,0	7,32	0,919	4,0	20,70
10	17,58	2,69	—	28,9	3,84	0,482	1,10	21,42
11	12,90	2,727	—	29,2	8,82	1,107	5,8	21,72
12	16,68	2 848	—	32,2	6,0	0,753	2,7	22,68

Къ сожалѣнію, въ практикѣ очень часто встрѣчаются подобныя неправильныя домовыя отвѣтвленія съ трубами слишкомъ малыхъ діаметровъ; причина этому кроется не въ недостаточномъ знаніи дѣла, а въ стремленіи къ сбереженію матеріала. Послѣдствія подобныхъ устройствъ часто бываютъ весьма непріятны. Такъ напр. при непосредственномъ соединеніи клозета съ трубопроводомъ, если кранъ пристаетъ не плотно, въ трубу путемъ всасыванія можетъ поступать сперва жидкость, а затѣмъ воздухъ изъ клозетной чаши, и т. д.

Если притокъ воды происходитъ изъ нѣсколькихъ мѣстъ отвѣтвленія, то трубопроводъ долженъ быть расположенъ такъ, чтобы при выключеніи той или другой вѣтви водоснабженіе могло-бы производиться изъ какой нибудь другой вѣтви, находящейся въ дѣйствіи. Для этой цѣли достаточно устроить широкія соединительныя вѣтви, которыя путемъ открытія промежуточнаго вентиля производятъ водоснабженіе помощью другихъ сообщенныхъ съ нею вѣтвей. Постановку подобныхъ промежуточныхъ вентилей (проходныхъ кранов) вообще можно рекомендовать, какъ на вертикальныхъ, такъ и на соединительныхъ вѣтвяхъ, для предупрежденія перерыва водоснабженія всего дома въ случаѣ какого нибудь исправленія трубопровода.

Описаніе детальнаго устройства различныхъ кранов и вообще принадлежностей домоваго водоснабженія не входитъ въ программу этого отдѣла книги, а составляетъ предметъ спеціальнаго изложенія.

Трубныя вѣтви къ гидрантамъ. Сообщеніе между гидрантными и домовыми трубными сѣтями можетъ быть допущено только въ видѣ исключенія уже потому, что скорость воды въ болѣе широкихъ гидрантныхъ вѣтвяхъ слишкомъ мала для образованія быстрой замѣны вытекающей воды свѣжей водой изъ главнаго трубопровода, причемъ качества воды въ мѣстахъ ея разбора ухудшаются. Во многихъ водопроводахъ отпускъ воды изъ пожарныхъ кранонъ производится безплатно, если эти краны изолированы и запломбированы, и это обстоятельство служитъ дальнѣйшимъ противопоказаніемъ къ соединенію ихъ съ домовыми вѣтвями. Для уличныхъ гидрантовъ во многихъ случаяхъ вовсе не требуется трубопроводовъ, такъ какъ очень часто гидранты могутъ быть установлены непосредственно на флянцѣ вертикальнаго отростка трубы, или привинченъ къ крышкѣ распредѣлительной коробки. Для расположеннаго на панели гидранта обыкновенно устраивается боковое короткое отвѣтвленіе діам 65 или 80 миллиметр. отъ главной уличной трубы. Для нѣсколькихъ гидрантовъ въ частныхъ владѣніяхъ или зданіяхъ трубопроводы вычисляются по вышеприведеннымъ правиламъ или размѣры ихъ соотвѣтственно выбираются такъ, чтобы при приведеніи въ дѣйствіе одного или нѣсколькихъ гидрантовъ скорость значительно не превышала-бы 1 метра въ секунду.

Болѣе подробныя свѣдѣнія о постановкѣ гидрантовъ, о выборѣ мѣста для нихъ (на улицѣ, или на панели), о конструкціи ихъ и т. д. составляютъ отдѣльный предметъ спеціальнаго изложенія (домовое водоснабженіе), не входящій въ программу настоящаго отдѣла.

Трубныя вѣтки къ фонтанамъ. При проведеніи трубъ къ фонтанамъ необходимо строго слѣдить за тѣмъ, чтобы каждая струя имѣла-бы отдѣльное отвѣтвленіе и регулированіе; при отвѣтвленіи этихъ вѣтвей отъ одной общей главной трубы весьма цѣлесообразно площадь поперечнаго сѣченія послѣдней сдѣлать равною суммѣ сѣченій отдѣльныхъ вѣтвей. Впрочемъ и въ этомъ случаѣ размѣры трубъ опредѣляются тѣмъ условіемъ, чтобы скорость воды въ приводной трубѣ не превышала 1 метра въ секунду.

Водопроводныя вѣтви къ театрамъ, желѣзнодорожнымъ станціямъ, банямъ, общественнымъ и частнымъ садамъ, водянымъ двигателямъ и проч. обыкновенно служатъ для провода впередъ опредѣленныхъ количествъ воды и для доставленія этой воды на опредѣленной высотѣ по указанному пути. Такимъ образомъ безъ всякихъ затрудненій опредѣляются діаметры и положеніе трубъ и глубина ихъ залеганія или продольная профиль.

Въ заключеніе считаемъ нелишнимъ здѣсь замѣтить, что при различныхъ ремонтахъ на городскихъ улицахъ, главнымъ образомъ при откачкѣ воды изъ канавъ для газо-и водопроводныхъ трубъ, какъ показала практика, трубы меньшаго діаметра чаще повреждаются, нежели крупныя трубы. Съ другой стороны всякія неправильности въ небольшихъ сѣтяхъ съ высокими напорами легче обнаруживаются, нежели въ большихъ трубахъ. Черезъ неплотности въ трубопроводахъ, какъ показалъ опытъ, въ него могутъ попадать или всасываться водой различныя примѣси, что представляетъ собой весьма крупный недостатокъ водоснабженія въ гигіеническомъ отношеніи. Поэтому руководящій работами инженеръ обязанъ стремиться къ доброкачественной работѣ при от-

водѣ отвѣтвленій путемъ неослабнаго надзора за работами и высокаго пробнаго давленія уложенныхъ трубъ. Исполненіе этой обязанности еще тѣмъ затруднительнѣе, что при изготовленіи этихъ частей обыкновенно является сильная торопливость и стремленіе къ возможно быстрому окончанію работъ и прекращенію неудобствъ для публики отъ долго остающихся открытыми канавъ, и что для работы обыкновенно приглашаются мѣстные мастера, которые, какъ новички въ этомъ дѣлѣ, большей частью не обладаютъ требуемой опытностью и знаніемъ поручаемаго имъ дѣла.

Изданіе книжнаго магазина В. Эриксонъ.

Спб., Вознесенскій просп., № 28.

ГОТОВИТСЯ КЪ ПЕЧАТИ

НАСТОЛЬНАЯ КНИГА ДЛЯ АРХИТЕКТОРОВЪ

на 1903 годъ.

Въ программу этой книги войдутъ кромѣ разсчетныхъ таблицъ слѣдующіе отдѣлы: Обязательныя постановленія С.-Петербургской городской думы, краткія свѣдѣнія по строительному искусству, цѣны матеріаловъ и принадлежностей строительнаго дѣла, какъ въ Петербургѣ такъ и въ другихъ городахъ Россіи, адреса архитекторовъ и гражданскихъ инженеровъ, каталогъ русскихъ и иностранныхъ книгъ, журналовъ и увражей по архитектурѣ и вообще по искусству, и многія другія справочныя свѣдѣнія.

Цѣль книги—дать нашимъ строителямъ необходимыя и, по возможности, полныя справки по всѣмъ вопросамъ, съ которыми имъ приходится сталкиваться въ ежедневной практической дѣятельности.

Цѣна настольной книги 80 коп., для подписчиковъ журнала «Архитектурный Музей» 60 коп., съ доставкой и пересылкой въ разныя мѣста Россіи 1 руб., для подписчиковъ 80 коп.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

НА

ХУДОЖЕСТВЕННО-АРХИТЕКТУРНЫЙ

ЖУРНАЛЪ

„АРХИТЕКТУРНЫЙ МУЗЕЙ".

Въ предѣлахъ разрѣшенной программы содержаніе журнала „Архитектурный Музей" состоитъ изъ слѣдующихъ отдѣловъ: 1) Рисунки **Архитектурнаго Музея ИМПЕРАТОРСКОЙ Академіи Художествъ**, 2) Объяснительный текстъ къ рисункамъ, 3) Статьи по вопросамъ искусства, 4) Статьи по археологіи, 5) Монографіи выдающихся зданій старинныхъ и современныхъ, 6) Статьи по эстетикѣ, 7) Свѣдѣнія относящіяся къ внутренней жизни Императорской Академіи Художествъ, 8) Свѣдѣнія о дѣятельности обществъ архитекторовъ - художниковъ 9) Біографія выдающихся художниковъ и архитекторовъ, 10) Замѣтки и объявленія.

Къ изданію намѣчены работы извѣстнѣйшихъ русскихъ художниковъ, профессоровъ, академиковъ и пенсіонеровъ Императорской Академіи Художествъ: **І. Артори, Н. П. Басина, Е. Баха, К. Бейне, А. Н. Бенуа, Л. Н. Бенуа, Н. Л. Бенуа, Ѳ. Богдановича, Г. Боссе, Л. Брайловскаго, Л. Васильева, А. Н. Векшинскаго, Е. Веселовскаго, Р. А. Гедике, А. М. Горностаева, Д. И. Гримма, Г. Д. Гримма, Л. Даля, І. Дидриха, С. Дмитріева, Э. И. Жибера, С. Иванова, В. А. Кенеля, І. С. Китнера, Э. Клягеса, В. Коссова, Г. И. Котова, А. И. Кракау, С. Н. Лазарева-Станищева, В. Леонова, И. А. Монигетти, М. Е. Месмахера, Н. Набокова, А. Павлинова, А. А. Парланда, Н. Поздѣева, П. П. Покрышкина, А. Н. Померанцева, М. Т. Преображенскаго, К. К. Рахау, А. И. Резанова, П. Н. Ропета, Е. А. Сабанѣева, С. Соловьева, И. А. Стефаница, В. В. Суслова, А. О. Томишко, К. А. Тона, А. Г. Трамбицкаго, В. П. Цейдлера. Ѳ. И. Чагина, Р. Шмелинга, В. А. Шрейбера, А. В. Щусева** и др.

Въ каждомъ выпускѣ изъ числа пяти рисунковъ, предполагается помѣщать одинъ или два снимка съ проектовъ учениковъ Академіи Художествъ, а остальные съ работъ профессоровъ и пенсіонеровъ.

Въ литературномъ отдѣлѣ журнала изъявили согласіе принять участіе и приняли участіе слѣдующія лица:

Л. М. Антокольскій, Е. Е. Баумгартенъ, А. Г. Бекштремъ, И. П. Володихинъ, З. А. Венгерова, Прив. доц. А. Н Гейне, В. С. Карповичъ, И. И. Лазаревскій, П. П. Покрышкинъ, Проф. М. Т. Преображенскій, проф. А. В. Праховъ, проф. Л. А. Саккетти и др.

ЖУРНАЛЪ ВЫХОДИТЪ 10 РАЗЪ ВЪ ГОДЪ.

УСЛОВІЯ ПОДПИСКИ:

	На годъ
Съ доставкой въ Петербургѣ	**10 руб.**
„ пересылкой иногороднымъ	**12 „**
„ „ за границу	**14 „**

Для учащихся высшихъ учебныхъ заведеній допускается разсрочка: при подпискѣ 2 руб., и при полученіи каждаго выпуска по 2 руб., пока не составится вся годовая плата. Цѣна отдѣльнаго номера 1 руб. 50 коп., съ перес. 1 руб. 80 к.

Адресъ редакціи: С.-Петербургъ, Вознесенскій проспектъ, № 28, книжный магазинъ В. Эриксонъ.

Издатель **В. Эриксонъ.** Редакторъ **В. Карповичъ.**

Date Charged Date Returned

Stanford University Libraries
3 6105 021 513 135

ARMY MAP SERVICE
LIBRARY
WASHINGTON, D. C.